

**FABRIKASI DAN UJI PERFORMANSI DYE-
SENSITIZED SOLAR CELLS (DSSC) BERBASIS ZnO
(OKSIDA SENG) NANOFLOWER DENGAN VARIASI
DERAJAT KEASAMAN DAN HMTA**

Nama Mahasiswa : *Muhammad Iqbal*
NRP : *2410 100 003*
Jurusan : *Teknik Fisika FTI-ITS*
Dosen Pembimbing : *Dr.-Ing Doty Dewi Risanti, ST, MT*
Dyah Sawitri, ST, MT

Abstrak

ZnO *nanoflower* telah disintesis dengan menggunakan metode ko-presipitasi pada suhu 80°C untuk aplikasi *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC). Nanostruktur ZnO berhasil ditumbuhkan dengan variasi nilai derajat keasaman (pH) dari *Zinc nitrate tetrahydrate* [Zn(NO₃)₂·4H₂O], *Hexamethylenetetramine* (HMTA) dan *Potassium hydroxide* (KOH). Hasil eksperimen mengindikasikan dengan penambahan nilai pH dari 6 sampai 12, morfologi ZnO berkembang dari partikel agregat, *nanoflakes*, nano prisma, dan pada akhirnya membentuk struktur *nanoflower*. Berdasarkan persamaan Scherrer, ukuran partikel dari puncak (100), (002), (101) dan (112) memiliki variasi ukuran dari 40 nm sampai 69 nm. Pada proses anil, ukuran partikel meningkat hingga 1,5 hingga 2 kali lipat dibandingkan saat sintesis. HMTA diketahui sebagai stabilizer dan reduktor yang efektif untuk memproduksi ZnO yang bervariasi terhadap panjang dan penampang melintang. Preparasi pasta pada penelitian ini dilakukan dengan variasi suhu dan waktu anil yaitu 200°C selama 30 menit dan suhu 300°C selama 60 menit. Hasil eksperimen menunjukkan efisiensi terbaik didapat dengan menggunakan suhu anil 200°C selama 30 menit dengan efisiensi 0,11 %, IPCE= 0,008611 %, FF= 0,25 %, V_{oc}= 382 mV, J_{sc}= 0,11 mA/cm².

Kata kunci : ZnO, Nanoflower, DSSC, kopresipitasi, pH, HMTA.

FABRICATION AND PERFORMANCE OF ZnO (Zinc Oxide) NANOFLOWER ON DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS (DSSC) FOR VARIOUS pH AND HMTA

Name : ***Muhammad Iqbal***
NRP : ***2410 100 003***
Department : ***Department of Engineering Physics***
Supervisor : ***Dr.-Ing Doty Dewi Risanti, ST, MT***
Dyah Sawitri, ST, MT

Abstract

ZnO nanoflowers were synthesized by co-precipitation method at low temperature (80° C) for dye-sensitized solar cell applications. ZnO nanostructures were grown at various pH values from Zinc nitrate tetrahydrate [Zn(NO₃)₂·4H₂O], HMTA (Hexamethylenetetramine) and Potassium Hydroxide (KOH). The results indicate that by increasing pH from 6 to 12, the ZnO morphology evolves from aggregated particles, prism-like and eventually flower-like structures. According the Scherrer equation the particle size of (100), (002), and (101) peaks tends to drop as the pH increased. HMTA is known as an effective reductant to produce hexagonal ZnO rods of various lengths and cross-sections. However, the effect of various ammount of HMTA on the crystallite size in this research is somewhat complex, i.e. no particular trend was observed. The only clear information was obtained through SEM investigation which indicates that for low HMTA led to smaller petal and further addition caused the petal became wider ad eventually led the pronounced formation of the centered cone. Paste preparation which employs annealing at 200° C or 300° C for up to 1 hour leads to further growth of the obtained crystal. The experimental result show that the best efficiency was obtained for temperatur annealing of 200° C for 30 minutes i.e 0,11 % with IPCE= 0,008611 %, FF= 0,25 %, V_{oc}= 382 mV, J_{sc}= 0,11 mA/cm².

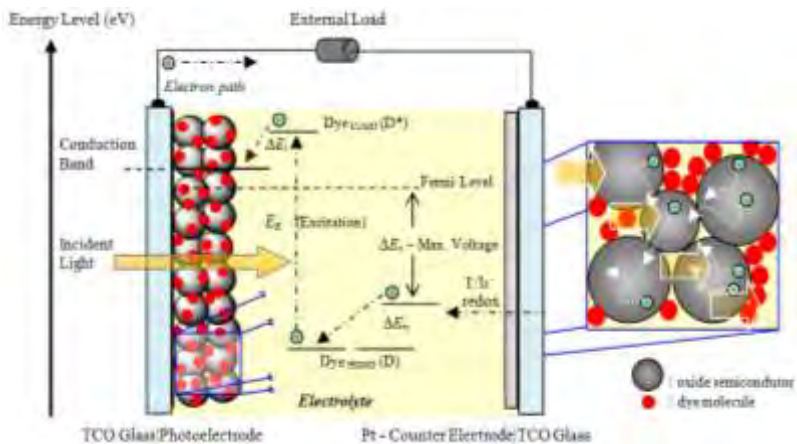
Keywords : *ZnO, Nanoflower, DSSC, Co-precipitation, pH, HMTA.*

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC)*

Berbeda dengan sel surya konvensional, DSSC (*Dye-Sensitized Solar Cell*) merupakan sel surya berbasis fotoelektrokimia sehingga menggunakan elektrolit sebagai medium *transport* muatan. Selain elektrolit, DSSC terbagi menjadi beberapa bagian yang terdiri dari nanopori oksida semikonduktor, molekul pewarna yang teradsorpsi di permukaan oksida semikonduktor, dan katalis yang semuanya dideposisi diantara dua kaca konduktif, seperti terlihat pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Prinsip kerja *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC)

Pada gambar 2.1, struktur terluar DSSC adalah kaca TCO (*Transparent Conducting Oxide*) yang berfungsi sebagai substrat pada elektroda dan elektroda pembinding. Pada elektroda pembinding dilapisi katalis platina atau karbon untuk mempercepat reaksi redoks dengan elektrolit. Pasangan redoks yang umumnya digunakan adalah pasangan I/I^{3-} (iodida/tri-iodida). Pada permukaan elektroda dilapisi oleh nanopori oksida

semikonduktor dengan pewarna teradsorpsi pada pori-pori. Bahan pewarna yang umumnya digunakan yaitu jenis *ruthenium complex*.

Prinsip kerja dari DSSC merupakan reaksi transfer elektron. (Uthirakumar, 2011; Zhang, 2009; Janne, 2002). Elektron pada molekul pewarna tereksitasi akibat absorpsi foton. Elektron tereksitasi dari keadaan dasar (D) ke keadaan tereksitasi (D*).



Elektron dari keadaan tereksitasi terinjeksi ke pita konduksi (E_{CB}) oksida semikonduktor sehingga molekul pewarna teroksidasi (D^+). Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit (I^-) maka molekul pewarna kembali ke keadaan dasar dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh pewarna yang teroksidasi.



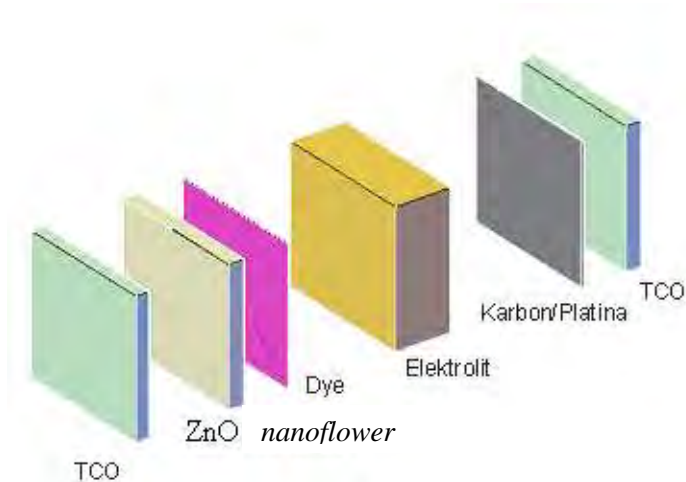
Setelah mencapai elektroda TCO, elektron mengalir menuju elektroda lawan melalui rangkaian eksternal. Dengan adanya katalis pada elektroda lawan, elektron diterima oleh elektrolit sehingga *hole* yang terbentuk pada elektrolit (I_3^-), akibat donor elektron pada proses sebelumnya, berkombinasi dengan elektron membentuk iodida (I^-).



Iodida digunakan untuk mendonor elektron kepada pewarna yang teroksidasi sehingga terbentuk suatu siklus *transport* elektron. Dengan siklus ini terjadi konversi langsung dari energi cahaya matahari menjadi energi listrik.

2.2 Komponen Penyusun DSSC

Gambar 2.2 menunjukkan komponen dari DSSC yang secara umum terdiri atas substrat berupa kaca TCO, elektroda nanoflower, pewarna, elektrolit, dan elektroda lawan (Janne, 2002; Munukutla, 2011). Bagian substrat dilapisi oleh elektroda berupa oksida logam, seperti ZnO nanoflower. Sementara bagian substrat yang lain dilapisi oleh karbon/platina sebagai elektroda lawan. Di bagian dalam DSSC terdapat pewarna yang akan diserap oleh nanorod ZnO. Selain itu, elektrolit juga disuntikkan pada kaca TCO setelah bagian pertama substrat terlapisi oleh elektrolit fotoelektroda ZnO dan pewarna.



Gambar 2.2 Komponen Penyusun DSSC

a. Substrat

Jenis substrat yang umumnya digunakan adalah TCO (*Transparent Conducting Oxide*). TCO merupakan kaca konduktif yang mengalirkan muatan. Kaca ini dilapisi substrat konduktif yang bekerja sebagai pengumpul arus. Umumnya, substrat konduktif yang digunakan adalah lapisan tipis tin oksida (SnO_2) yang diberi dopan flourine (*flourine tin oxide* atau FTO) atau indium (*indium tin oxide* atau ITO).

- b. Lapisan Oksida struktur Nano DSSC
Lapisan oksida semikonduktor digunakan pada proses fotoelektrokimia karena lapisan lebar pita energi yang besar (3,3 eV) sehingga berfungsi sebagai semikonduktor transparan pada bagian besar spektrum cahaya matahari, dengan demikian foton yang terserap lebih banyak (Janne, 2002). Penggunaan material berstruktur nano pada DSSC digunakan untuk memberikan luas permukaan yang lebar agar mampu memaksimalkan penyerapan cahaya oleh pewarna. Oksida Seng (ZnO) merupakan salah satu jenis material alternatif yang memiliki energi pita celah yang hampir sama dengan TiO_2 dan mudah disintesis dalam variasi struktur nano (Uthirakumar, 2011; Zhang, dkk., 2009).
- c. *Dye* (Pewarna)
Adanya pewarna pada DSSC menyebabkan prinsip kerja DSSC bisa disetarakan dengan proses fotosintesis. Pewarna berfungsi sebagai penyerap cahaya untuk memproduksi elektron tereksitasi (Janne, 2002).
- d. Elektrolit
Umumnya elektrolit yang digunakan pada DSSC adalah iodine (I^-) dan triiodide (I_3^-), yang digunakan sebagai pasangan redoks dalam pelarut).
- e. Katalis elektroda lawan
Elektroda lawan (*Counter Electrode*) membantu perpindahan elektron dari sirkuit eksternal kembali ke elektrolit redoks. Katalis dibutuhkan untuk mempercepat reaksi reduksi triiodida pada kaca TCO. Umumnya, digunakan platina (Pt) yang digunakan sebagai katalis karena efisiensi kataliknya yang tinggi. Katalis lainnya yang dapat digunakan dan murah adalah Karbon. yang memiliki luas permukaan yang besar (Janne, 2002).

2.3 ZnO untuk Fotoelektroda DSSC

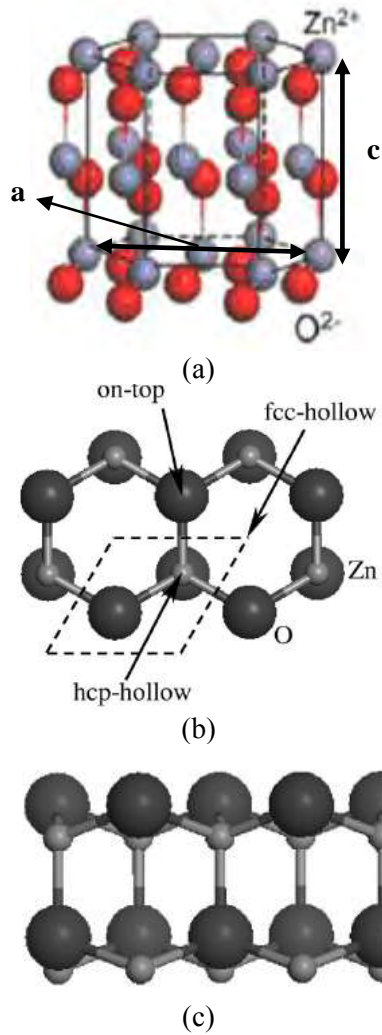
Zinc Oxide (Oksida Seng) adalah material semikonduktor golongan II-VI yang tergolong ke dalam salah satu oksida logam dan dapat dengan mudah mengalami proses kristalisasi. Sehingga ZnO telah banyak diproduksi dalam bentuk nano. Dengan struktur ini, maka dapat berpotensi untuk aplikasi fotodetektor, *ultraviolet light-emitting diodes* (Liang, 2004), fotokatalis (Hariharan, 2006), sensor gas (Wagner, 2007), dan fotoanoda *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) (Keis, 2002).

Berdasarkan atom pembentuk ZnO, jelaslah bahwa ZnO disusun oleh atom logam *zinc* (Zn^{2+}) dan atom *oxigen* (O^{2-}). Pada kristal ZnO terdapat ikatan campuran antara ikatan ionik dan kovalen.

Karakteristik ZnO sangat dipengaruhi oleh besar kecil ukuran partikel ZnO yang diperoleh. Namun, pada dasarnya karakteristik partikel ZnO dipengaruhi oleh ikatan antar atom dalam kristal, orientasi bidang kristal dan struktur dari kristalnya.

Jenis struktur kristal dari material ZnO antara lain *roksalt*, *zinc blende*, dan *wurtzite* (Uthirakumar, 2011). Berdasarkan data dari JCPDS 36-1451, didapatkan bahwa kecenderungan orientasi kristal ZnO terletak pada daerah (2θ) 36° pada (101). Gambar 2.1 menunjukkan ilustrasi dari kristal heksagonal *wurtzite*.

Gambar 2.1 (a) memperlihatkan ikatan ionik dan kovalen antara Zn^{2+} (atom berwarna biru) dengan O^{2-} (atom berwarna merah). Terjadinya ikatan ion dan kovalen menimbulkan bentuk struktur heksagonal dari kristal ZnO. Pada Gambar 2.1 (b) dapat dilihat bidang kristal ZnO berbentuk segi enam dengan jarak antar atomnya sama dan pada Gambar 2.1 (c) bidang kristal ZnO berbentuk persegi panjang. Sehingga dari Gambar 2.1 dapat disimpulkan bahwa struktur kristal terbentuk dari ikatan atom-atom penyusun kristal dan orientasi bidang kristal.



Gambar 2.3 Struktur kristal ZnO (a) Struktur ZnO Heksagonal
 (b) Struktur ZnO dilihat dari atas (c) Struktur ZnO
 dilihat dari samping (Anggoro, 2012)

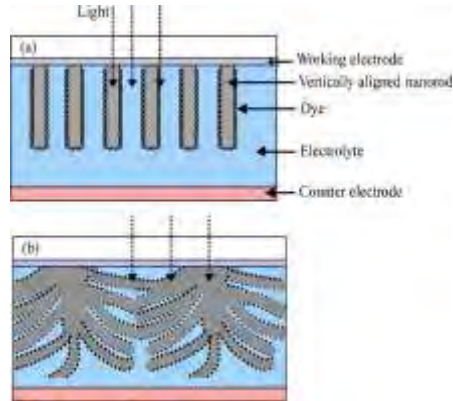
ZnO memiliki nilai indeks refraksi yang tinggi dibandingkan dengan kristal fotonik lainnya. Kristal ini dapat meningkatkan pengumpulan cahaya yang dapat diaplikasikan di sel surya. ZnO memiliki mobilitas elektron sebesar 205-300 ($\text{cm}^2\text{Vs}^{-1}$). DSSC berbasis ZnO menarik untuk dikembangkan dikarenakan posisi pita konduksinya lebih tinggi dibandingkan dengan pita konduksi TiO_2 , sehingga memiliki kemungkinan untuk menghasilkan tegangan yang lebih tinggi. ZnO juga memiliki mobilitas elektron yang lebih baik dibandingkan TiO_2 . ZnO memiliki besar energi celah pita sebesar 3,2-3,3 eV dan tepi konduksi yang berdekatan yang membuatnya lebih efisien (Uthirakumar, 2011)

2.4 Morfologi ZnO

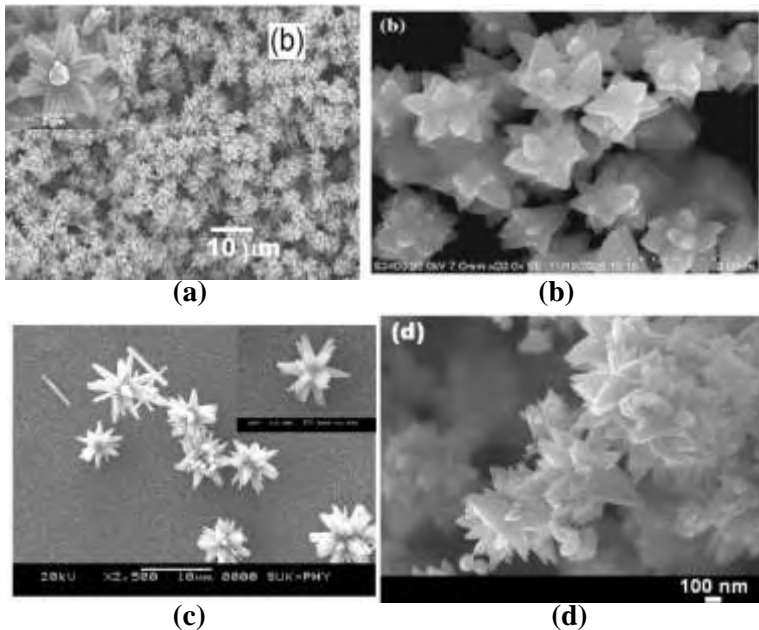
Sebagai fotoelektroda, ZnO dapat dibentuk dengan berbagai macam variasi morfologi seperti nanopartikel, *nanorod*, *nanotube*, *nanoflower*, *nanobelts*, *tetrapods*, dan *nanowires* (Zifeng Liu, dkk., 2011). ZnO dapat disintesis melalui metode-metode yang bervariasi.

Sebagai fotoanoda disamping konduktivitas elektronik, struktur morfologi nano ZnO memainkan peran yang penting dalam meningkatkan muatan pewarna dan pengumpulan cahaya. Gambar 2.4(a) dan 2.4(b) menunjukkan dua struktur yaitu *nanorod* dan *nanoflower*, di bawah sinar matahari. Secara teoritis, *nanorod array* menjadi kurang menguntungkan dalam pengumpulan cahaya atau interaksi pewarna karena beberapa foton bisa jatuh pada celah antara ZnO *nanorod* yang berdekatan, sehingga tidak mampu untuk diserap oleh pewarna. (Jiang et.al, 2007).

Berbeda dengan ZnO *nanorod*, struktur acak dari kelopak *nanoflower* lebih efektif karena luas permukaannya lebih besar dan interaksi pewarna-cahaya yang lebih baik tanpa mengurangi transport elektron daripada *nanorod* yang tersusun vertikal.



Gambar 2.4 Skema morfologi *nanorod* (a) dan *nanoflower* (b) dibawah sinar matahari (Jiang et.al, 2007)



Gambar 2.5 Morfologi ZnO *nanoflower* dengan berbagai sintesis (a) (Jiang et al,2007), (b) (Liu et al, 2014), (c) (Pawar, 2011), (d) (Umar et al, 2012)

Gambar 2.5 menunjukkan contoh dari berbagai ZnO *nanoflower* yang telah disintesis dari berbagai sumber. Dari gambar ditunjukkan bahwa struktur ZnO memiliki morfologi ZnO menyerupai bunga yang bercabang-cabang.

2.5 Pemilihan Pewarna Alami (Dye)

Dye merupakan molekul pewarna yang ditempelkan pada permukaan semikonduktor DSSC yang mempunyai peran utama untuk menyerap foton atau cahaya. Pewarna yang biasa digunakan dan ditambahkan pada DSSC untuk membangkitkan efisiensi tertinggi adalah *Ruthenium Complex* dimana efisiensi konversinya dapat mencapai 12% (Grätzel, 2003). Namun *Ruthenium Complex* sangat mahal dan melalui proses sintesis yang rumit. Alternatif lain yang dikembangkan saat ini ialah ekstraksi pewarna natural yang berasal dari alam. Flavonoida dari antosianin, karotenoid dan klorofil telah dipelajari dapat digunakan sebagai sintesa (Kay dan Gratzel, 1996). DSSC menggunakan pewarna natural ini agar bisa menghasilkan konversi energi yang efisiensinya hingga 1,2% (Zhou et al, 2011).

Turunan klorofil telah diaplikasikan untuk mensintesis nanokristalin TiO₂ dari DSSC, dan dimana efisiensi konversi mencapai 2,6%. walau bagaimanapun, pewarna ini masih memerlukan pengembangan pemurnian pigmen (Kay and Grätzel, 1993).

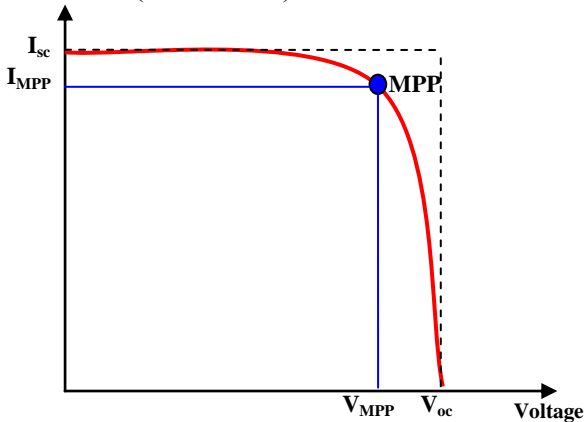
Antosianin, sebuah kelas dari *flavonoid*, menyebabkan warna merah dan ungu dari beberapa jenis buah dan bunga (Calogero et al., 2008). Peran dari *antosianin* dapat meningkatkan fotosintesis (Gould et al., 1995). Pewarna *antosianin* mengandung pigmen *sianidin*, sebagian *sianidin* 3-O-B-glukosida dapat menghasilkan sensitivitas yang lebih baik dan memperkuat absorpsi terhadap spektrum panjang gelombang cahaya tampak (Cherepy et al., 1997; Halme, 2002). Flavonoid lainnya misalnya pewarna karotenoid, dapat diekstraksi dari buah gardenia. Krokotin dalam karotenoid sebagai pewarna dapat menghasilkan efisiensi 0,56%. Hingga saat ini, belum ada pewarna natural yang

dapat digunakan untuk menghasilkan DSSC dengan efisiensi yang tinggi.

Dalam penelitian ini akan digunakan pewarna berupa kulit manggis dimana telah diteliti efisiensinya mencapai 0,16% (Abidin,2012) . Hasil terbaik pada variasi pH akan menggunakan pewarna komposit berupa pewarna multi lapis dari kulit manggis yang mengandung *anthochyanin*, wortel mengandung *beta carothene*, dan kunyit mengandung *curcumin* guna meningkatkan efisiensi DSSC. Penelitian mengenai pewarna komposit menghasilkan efisiensi hingga 0,57% (Abidin, 2012).

2.6 Pengukuran Arus-Tegangan (I-V)

Sel surya merupakan suatu piranti yang digunakan untuk mengkonversi cahaya menjadi energi listrik. Daya listrik yang dihasilkan sel surya ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan ketika diberi beban dan arus melalui beban pada waktu yang sama. Pengukuran arus dan tegangan selanjutnya akan diplot ke dalam kurva I-V (Gambar 2.6).



Gambar 2.6 Kurva karakteristik I-V DSSC

Ketika sel dalam kondisi *short circuit* (hubungan singkat), arus maksimum atau arus *short circuit* (I_{sc}) dihasilkan, sedangkan

pada kondisi *open circuit* tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum, disebut tegangan rangkaian terbuka atau tegangan *open-circuit* (V_{oc}). Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut Maximum Power Point (M_{pp}) atau titik daya maksimum (Janne, 2002).

Pengukuran untuk mengetahui nilai dari I_{sc} dan V_{oc} dibutuhkan rangkaian hambatan. Rangkaian terdiri dari DSSC sebagai sumber energi, potensiometer yang digunakan untuk mengubah-ubah besar dari arus dan tegangan yang diterima, voltmeter sebagai pengukur tegangan dan amperemeter sebagai pengukur arus. I_{sc} diperoleh ketika hambatan dari luar dihilangkan yaitu dengan mengatur potensiometer pada posisi minimum (nol) sehingga arus yang dihasilkan maksimal. V_{oc} didapatkan ketika hambatan yang diberikan maksimal yaitu saat potensiometer diatur pada kondisi maksimum sehingga arus tidak mengalir dan muatan menumpuk di elektroda untuk menghasilkan tegangan rangkaian terbuka (Janne, 2002).

Dari karakteristik kurva I-V (sesuai Gambar 2.4) tersebut, dapat diketahui besar efisiensi dan *Fill Factor* (FF) dari sel surya. FF merupakan perbandingan antara daya maksimum dengan daya hasil kali V_{oc} dan I_{sc} . Dari Gambar 2.4, FF dapat diperlihatkan dari ketajaman siku kurva. Semakin tajam siku, semakin FF mendekati nilai 1 dan performansi sel surya semakin baik. Persamaan FF diperlihatkan pada persamaan (2.4)

$$FF = \frac{V_{MPP} \times I_{MPP}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (2.4)$$

Nilai FF berpengaruh pada nilai hambatan internal dari FTO/ZnO, elektrolit dan kaca TCO (Dutta, 2012; Yonekawa, 2012). Dengan menggunakan FF, daya keluaran maksimum dari sel surya diberikan sebagai (Janne, 2002).

$$P_{max} = FF \times V_{oc} \times I_{sc} \quad (2.5)$$

Konversi efisiensi energi dari sel surya didefinisikan sebagai daya yang dihasilkan oleh sel (P_{\max}) dibagi oleh daya yang masuk ke dalam area sel (P_{light}).

Efisiensi sel surya bergantung pada temperatur dari sel, kualitas pencahayaan (besar intensitas cahaya dan distribusi spektrum pencahayaan).

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{\text{light}}} \quad (2.6)$$

2.7 Incident Photon to Current Conversion Efficiency (IPCE)

Performansi DSSC juga diperlihatkan dengan *Incident Photon to Current Conversion Efficiency* (IPCE). IPCE digunakan untuk mengetahui daerah sensitifitas DSSC pada panjang gelombang cahaya tampak. Arus *short circuit* (I_{sc}) per satuan luas (J_{sc}) dari DSSC menunjukkan ketergantungan antara spektral IPCE dan spectra fluks foton dari cahaya yang masuk ke dalam sel. IPCE dapat dihitung dengan melihat efisiensi setiap proses yang menunjukkan proses konversi elektrik di DSSC (persamaan 2.7).

$$IPCE(\lambda) = \eta_{lh}(\lambda) \eta_{inj}(\lambda) \eta_{col}(\lambda) \quad (2.7)$$

Dimana $\eta_{lh}(\lambda)$ merupakan absorptansi (efisiensi cahaya yang diterima) dari lapisan oksida yang peka terhadap cahaya, $\eta_{inj}(\lambda)$ merupakan efisiensi injeksi elektron dari sensitizer menuju oksida dan $\eta_{col}(\lambda)$ merupakan efisiensi elektron yang disalurkan.

Absorptansi ($\eta_{lh}(\lambda)$) dari lapisan tersensitasi mengindikasikan bagaimana molekul pewarna menyerap cahaya yang diterima. Efisiensi injeksi ($\eta_{inj}(\lambda)$) elektron berhubungan dengan kemungkinan bahwa molekul pewarna membangkitkan kemampuan injeksi elektron dari pita konduksi semikonduktor. Akibat adanya injeksi elektron, terjadi pergerakan elektron pada permukaan semikonduktor hingga menuju substrat (kaca TCO). Proses pergerakan elektron ini, nantinya akan mempengaruhi

besar dari arus yang dikeluarkan oleh DSSC (Rodriguez, 2011). Secara umum, perhitungan IPCE menggunakan persamaan berikut:

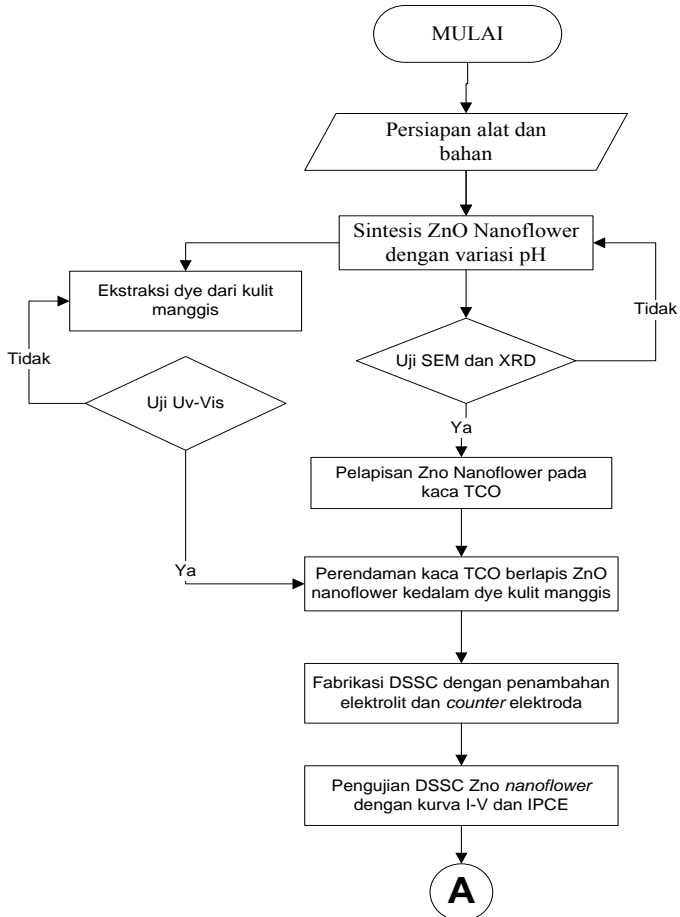
$$IPCE(\%) = \frac{1240(eV \cdot nm) \times J_{sc}(\mu A \cdot cm^{-2})}{\lambda(nm) \times P_{incidentlight}(\mu W \cdot cm^{-2})} \quad (2.8)$$

Halaman ini memang dikosongkan.

BAB III

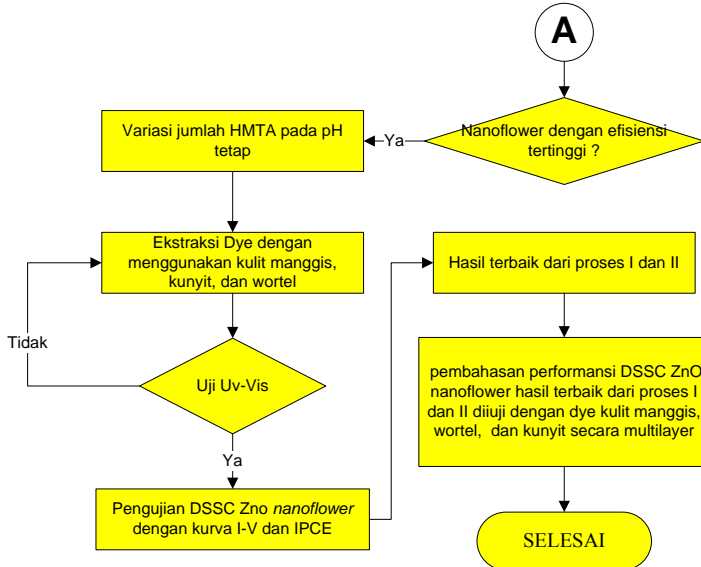
METODE PENELITIAN

Diagram alir penelitian yang dilakukan ditunjukkan pada gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian pembuatan DSSC berbasis ZnO Nanoflower dengan variasi pH

Pada penelitian ini, terbagi menjadi menjadi dua proses. Proses pertama untuk memperoleh ZnO *nanoflower* berdasarkan derajat keasamaan dan diujikan performansinya.



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian pembuatan DSSC berbasis ZnO *Nanoflower* dengan variasi jumlah HMTA dan pewarna dengan multi lapis.

Setelah didapatkan hasil terbaik dengan variasi derajat keasamaan, langkah selanjutnya yaitu proses kedua yang ditandai dengan warna kuning pada Gambar 3.2. Hasil terbaik dari proses pertama akan dijadikan acuan untuk melihat efek dari pewarna yang disusun secara multilayer yang mengacu pada penelitian sebelumnya (Sidik, 2014) dan variasi jumlah HMTA.

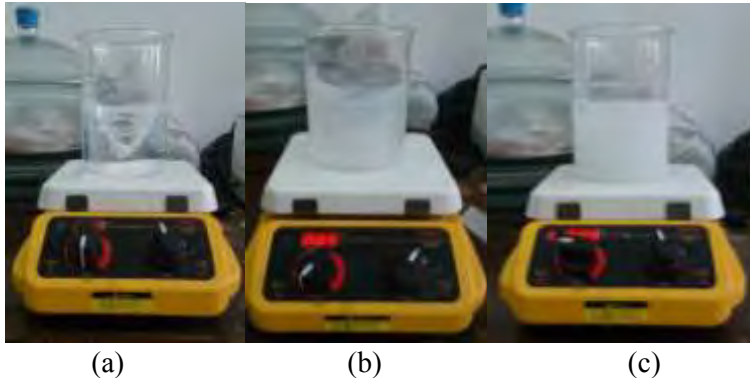
3.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini antara lain adalah *Hot Plate Thermo Scientific*, pH meter *Oakton* type 510, timbangan digital, gelas beker, gelas ukur, spatula besi, cawan evaporator.

Bahan yang digunakan untuk sintesis pada penelitian ini ialah *zinc nitrate tetrahydrate* $[\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ for analysis Merck, *hexamethylenetetramine* (HMTA) for analysis Merck, *potassium hydroxide* (KOH) SAP Chemical, *Aquades* Bratachem dan Etanol 99% Merck.

3.2 Proses Sintesis ZnO Nanoflower

Sintesis ZnO *nanoflower* dilakukan dengan menggunakan metode kopresitasi. Sebanyak 10 mM *Zinc Nitrate Tetrahydrate* $[\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ dan 9,9 mM *Hexamethylenetetramine* (HMTA) dilarutkan pada 500 ml *aquades*. Campuran tersebut kemudian diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu lingkungan selama 7 menit dengan kecepatan putaran 180 rpm. Kemudian dilakukan penambahan KOH dengan putaran yang kuat sampai mencapai variasi pH yang ditentukan. Setelah tercapai nilai pH yang ditentukan, selanjutnya sintesis dilakukan pada suhu 80°C selama 30 menit (Gambar 3.3)



Gambar 3.3 Sintesis ZnO (a) sebelum penambahan KOH (b) pada saat penambahan KOH (c) sintesis pada suhu 80°C selama 30 menit.

Kemudian dilakukan pendinginan pada suhu ruangan dan didapatkan endapan putih. Endapan putih dipisahkan dengan cara menyaring larutan. Endapan putih yang berada di bawah gelas

beker diambil dan dikeringkan dengan menggunakan cawan *evaporator* di atas *hot plate* pada suhu 200°C hingga menjadi serbuk (Gambar 3.4). Selanjutnya, serbuk ZnO yang didapatkan dari sintesis akan dikarakterisasi dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).



(a)



(b)

Gambar 3.4 Endapan putih ZnO yang dipanaskan di atas *hot plate* (a) dengan menggunakan cawan *evaporator* (b) serbuk ZnO

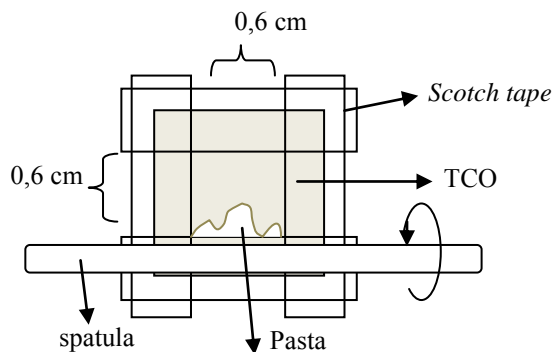
3.3 Preparasi Fotoelektroda ZnO

Preparasi fotoelektroda dilakukan dengan pembuatan pasta. Metode yang digunakan yaitu metode oleh Yonekawa dkk yaitu pasta ZnO (terdiri dari 0,3 gram/ml dengan etanol 70% dan pelarut *aquades* 30% dilapisi pada kaca TCO (substrat FTO, sekitar $\pm 13\Omega/\text{sq}$) dengan menggunakan teknik *doctor blade* (Yonekawa, 2012) seperti diilustrasikan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Ilustrasi pelapisan ZnO pada kaca FTO dengan menggunakan teknik ‘doctor blade’

Sebelumnya, kaca TCO terlebih dahulu dibersihkan menggunakan etanol kemudian bagian sisi-sisi kaca TCO diberi *scotch tape* dengan membiarkan bagian tengahnya seluas 0,6 cm x 0,6 cm tetap kosong agar dapat dilapisi pasta ZnO (Gambar 3.6).



Gambar 3.6 Pelapisan pasta ZnO pada kaca TCO (*Transparent Conducting Oxide*) dengan menggunakan metode *doctor blade*

Teknik preparasi *doctor blade* yaitu pasta ZnO diletakkan diatas kaca TCO, kemudian ditekan menggunakan spatula sambil digulung sampai lapisan tipis ZnO rata dipermukaan TCO.

Selanjutnya, pasta yang telah dilapiskan pada TCO dipanaskan dengan menggunakan *hot plate* pada variasi suhu anil 300°C selama 1 jam dan 200°C selama 30 menit (Gambar 3.7).



Gambar 3.7 Proses anil lapisan tipis ZnO pada *hot plate*

3.4 Ekstraksi dan Pencelupan Pewarna

Bahan zat pewarna (*dye*) alami yang digunakan pada penelitian ini adalah kulit manggis. Sedangkan untuk hasil terbaik dari variasi pH akan menggunakan pewarna berupa kulit manggis, wortel, dan kunyit yang dilapiskan secara berlapis. Pembuatan pewarna dimulai dari kulit manggis yang dikeringkan dengan menggunakan cahaya matahari selama 3-6 hari yang bertujuan untuk menghilangkan getah dan kandungan air didalamnya. Kulit manggis yang telah kering kemudian diblender untuk memperhalus kulit manggis tersebut sehingga didapatkan serbuk yang seragam (Gambar 3.8). Hal yang serupa juga dilakukan untuk pewarna lainnya. Pewarna wortel dan kunyit, dilakukan pengeringan selama 2 hingga 5 hari. (Sidik, 2014)



Gambar 3.8 Serbuk pewarna yang telah dihaluskan

Metode yang digunakan untuk ekstraksi pewarna yaitu metode sokletasi (Gambar 3.9). Pelaksanaan metode ini yaitu dengan penguapan 100 ml etanol yang ditempatkan pada labu yang dipanaskan pada suhu 200°C di atas *hot plate*, kemudian uap etanol tersebut melewati pipa samping alat soklet dan mengalami pendinginan sehingga terkondensasi. Etanol yang terkondensasi akan jatuh pada bagian dalam soklet yang berisi 20 gram serbuk pewarna. Pewarna yang diekstrak akan ditampung pada labu tempat etanol berasal.



Gambar 3.9 Proses ekstraksi pewarna dengan menggunakan metode sokletasi

Setelah didapatkan hasil ekstraksi berupa cairan berwarna pekat, dilakukan pencelupan fotoelektroda ZnO ke dalam cairan tersebut selama 12 jam (Gambar 3.10). Hal ini dilakukan agar terjadi penyerapan yang maksimal pewarna dengan fotoelektroda ZnO.

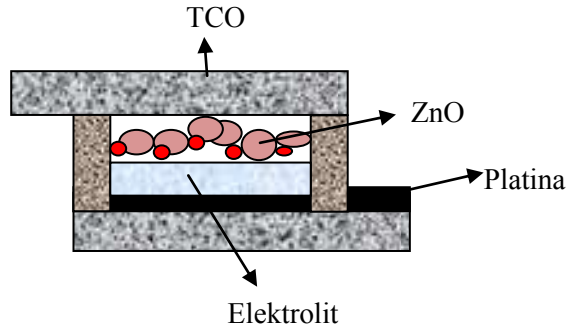


Gambar 3.10 Pencelupan fotoelektroda ZnO dengan pewarna manggis

3.5 Fabrikasi DSSC

Pada fabrikasi DSSC, elektroda karbon dilapiskan pada sisi konduktif kaca TCO kemudian direkatkan pada sisi yang bersesuaian dengan area TCO yang telah dilapisi dengan fotoelektroda ZnO dan pewarna. Selanjutnya DSSC dengan struktur *sandwich* (Gambar 3.11) akan dijepit dengan menggunakan penjepit buaya. Kemudian akan disuntikkan larutan gel elektrolit ke celah antara dua kaca TCO.

Pembuatan elektrolit pada penelitian ini dilakukan dengan melarutkan 0,8 gram KI 0,5M dan 0,127 gram I_2 0,05M ke dalam *acetonitril*. Agar elektrolit menjadi gel maka dilarutkan 7 gram PEG 4000 kedalam 25 ml kloroform. Kedua larutan tersebut kemudian dicampur menjadi satu dan diaduk pada suhu $80^{\circ}C$ selama 1 jam hingga diperoleh gel elektrolit homogen (Wahyuono,2013)



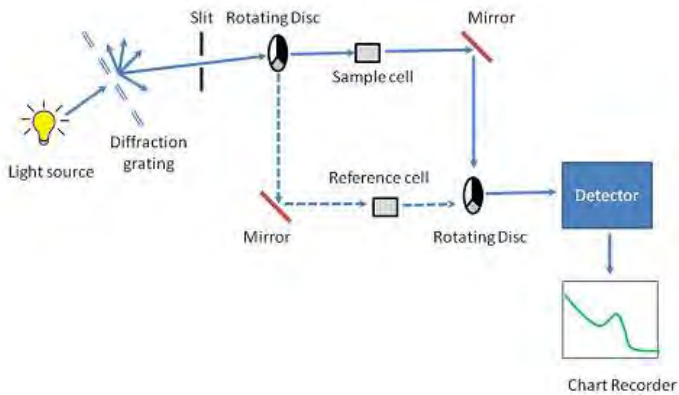
Gambar 3.11 DSSC dengan struktur *sandwich*

3.6 Karakterisasi Material ZnO

Hasil sintesis ZnO yang telah dilakukan selanjutnya diuji dengan menggunakan *Ultraviolet-visible Spectroscopy* (UV-Vis), *Scanning Electron Microscope* (SEM), *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Analysis-Differential Scanning Calorimetry* (DSC-TGA) .

3.6.1 Ultraviolet-visible Spectroscopy (UV-Vis)

Ultraviolet-visible Spectroscopy (UV-Vis) berfungsi untuk mengetahui kemampuan absorpsi pewarna. Terdapat dua lampu sebagai sumber cahaya, yaitu lampu wolfram digunakan untuk mengukur sampel pada daerah tampak di mana bentuk lampu ini mirip dengan bola lampu pijar biasa dan memiliki panjang gelombang antara 350-2200 nm serta spektrum radiasinya berupa garis lengkung, dan lampu *deuterium* yang dipakai pada panjang gelombang 190-380 nm di mana spektrum energi radiasinya lurus dan digunakan untuk mengukur sampel yang terletak pada daerah UV. Cahaya yang dihasilkan oleh lampu akan dibaurkan oleh monokromator (alat yang akan memecah cahaya polikromatis menjadi cahaya tunggal (monokromatis) dengan komponen panjang gelombang tertentu) kemudian diteruskan oleh cermin yang berotasi (*rotating disc*) dan cermin datar. Hasil hamburan cahaya diterima oleh detektor sehingga terjadi perubahan data cahaya menjadi angka yang tampak pada monitor. Ilustrasi dari prinsip kerja UV-Vis ditunjukkan pada Gambar 3.12 (Barron, dkk., 2010).



Gambar 3.12 Prinsip kerja UV-Vis Spectrofotometer (Barron, dkk., 2010)

Karakterisasi dilakukan di laboratoirum lingkungan LPPM ITS. Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan UV1100 *Spectrophotometer* (Gambar 3.13) pada jangkauan panjang gelombang 300-800 nm. Sebelum dilakukan pengujian, bahan pelarut yaitu etanol 99 % (Merck) diuji terlebih dahulu sebagai pembanding. Kemudian sampel yang sudah dilarutkan dengan menggunakan etanol 99 % diuji untuk mengetahui puncak gelombang dan kemampuan absorpsi ZnO.



Gambar 3.13 UV-Vis 1100 *Spechtrophotometer* LPPM ITS

Puncak gelombang yang dihasilkan oleh material ZnO yang telah dilarutkan, dilakukan untuk mencari nilai energi band gap (E_g) dengan menggunakan persamaan di bawah ini (Tammy dkk, 2007; Hiu, 2008; Khairuurijal, 2009):

$$E_g = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (3.1)$$

Dimana h = konstanta Planck

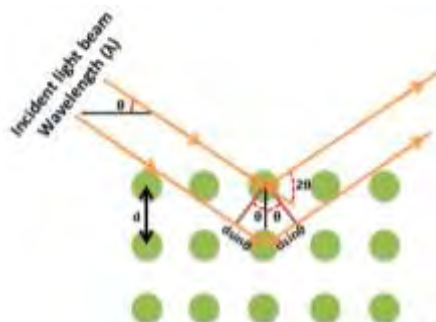
c = kecepatan cahaya

λ = panjang gelombang

Karakterisasi UV-Vis juga digunakan untuk mengetahui kemampuan absorpsi pewarna. Pelaksanaan uji dilakukan dengan jangkauan panjang gelombang 350-700 nm dengan mengencerkan larutan pewarna sebanyak 15 kali. Hal ini agar larutan dapat dibaca oleh alat *spechtrophotometer*.

3.6.2 X-Ray Diffraction (XRD)

X-ray Diffraction (XRD) adalah radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang 1,54056 Å atau panjang gelombang tersebut sama dengan ukuran atom pada kristal. Setiap struktur kristal mempunyai pola difraksi *X-ray* yang berbeda. Dari pola difraksi yang dihasilkan dapat ditentukan struktur kristal dan ukuran kristal dari ZnO (Anggoro, 2012).



Gambar 3.14 Deskripsi skematik hukum difraksi Bragg (cnx.org)

Sesuai dengan Gambar 3.14, dasar dari prinsip pendifraksian sinar X yaitu difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi yang konstruktif. Dasar dari penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan Bragg:

$$n\lambda = 2d \cdot \sin \theta; n = 1, 2, \dots \quad (3.2)$$

Berdasarkan persamaan Bragg, jika seberkas sinar-X di jatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Makin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, makin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan standar difraksi *X-ray* untuk hampir semua jenis material. Standar ini disebut JCPDS.

Pada penelitian ini karakterisasi dilakukan dengan sumber radiasi $\text{CuK}\alpha$ dengan panjang gelombang (λ) sebesar 1,54056 Å dan beroperasi pada tegangan 40 kV dengan arus 20 mA. Sampel holder memiliki panjang 5,12 cm, tebal 0,83 cm dan kedalaman 0,2 cm dan lebar holder 1,58 cm. Spektrum XRD dilakukan dengan sudut 15° sampai 80° dengan peak base width 2θ .

Penentuan jenis kristal *ZnO nanoflower* disesuaikan pada data JCPDS No.89-0511. Penentuan jenis dan ukuran kristal diketahui dengan menggunakan XRD Philips X-pert MPD yang ditunjukkan pada gambar 3.15.



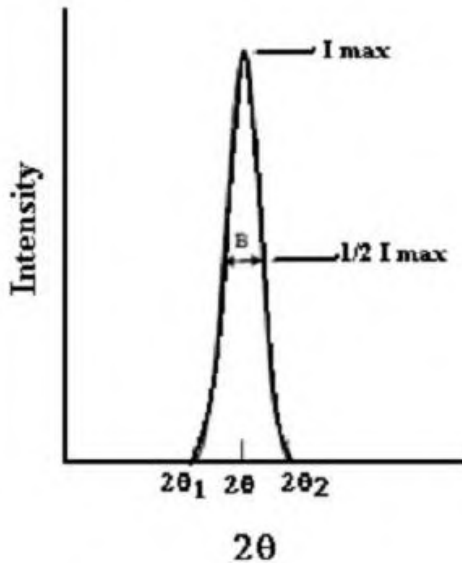
Gambar 3.15 X-Ray Diffraction Philips X-pert MPD

Ukuran kristal ditentukan dengan menggunakan persamaan ukuran partikel (D) dari spektrum XRD dengan menggunakan persamaan Scherrer (Cullity, 1956):

$$D = \frac{k\lambda}{\cos(\theta) \cdot FWHM} \quad (3.3)$$

Dimana persamaan tersebut terdiri dari sudut Bragg's (θ), faktor bentuk (k) pada kristal kubik sebesar 0,94, panjang gelombang X-Ray (λ) yang digunakan yaitu 1,54056 Å dan FWHM (*Full Width at Half Maximum*). Nilai FWHM ditentukan dari spektra pada puncak-puncak. Skema penentuan nilai FWHM

berdasarkan hasil karakteristik XRD diperlihatkan pada Gambar 3.16



Gambar 3.16 Skema penentuan nilai FWHM (Anggoro, 2012)

Dari Gambar 3.16 nilai FWHM pada grafik XRD dapat ditentukan dengan persamaan :

$$FWHM = \frac{1}{2} (2\theta_2 - 2\theta_1) = \theta_2 - \theta_1 \quad (3.4)$$

Selain digunakan untuk mengetahui ukuran partikel, XRD memiliki dapat digunakan untuk mengetahui regangan kisi dan kekuatan ikatan antara Zn dan O.

Regangan kisi pada ZnO diketahui dengan perhitungan menggunakan persamaan (Babikier):

$$\varepsilon_z = \frac{c - c_o}{c_o} \times 100\% \quad (3.5)$$

di mana c adalah kisi dari ZnO dari hasil karakterisasi XRD dan c_o adalah kisi ZnO dari standar yang tidak mengalami regangan sebesar 5,206Å. Nilai dari regangan kisi digunakan untuk mengetahui apakah pertumbuhan ZnO cenderung mengembang atau mengerut. Regangan kisi ZnO dengan pertumbuhan mengembang akan ditandai dengan nilai positif (+) sedangkan apabila pertumbuhannya mengerut ditandai dengan nilai yang negatif (-).

Sedangkan kekuatan ikatan antara Zn dan O dihitung dengan persamaan (Seetawan,2011):

$$L = \sqrt{\left(\frac{a^2}{3}\right) + c^2\left(\frac{1}{2} - u\right)^2} \quad (3.6)$$

Dimana parameter u didefinisikan oleh $u = \left(\frac{a^2}{3} + 3c^2\right) + 0,25$, a dan c merupakan parameter regangan yang didapatkan dari hasil karakterisasi XRD. Semakin besar nilai L , maka semakin kuat antara ikatan Zn dan O.

3.6 Scanning Electron Microscope

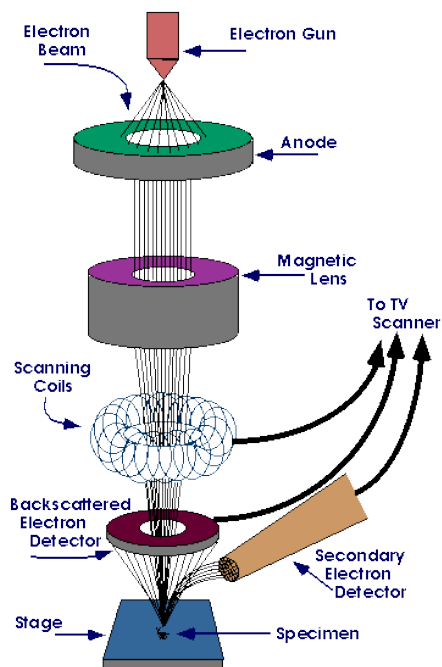
Morfologi ZnO *nanoflower* dilihat dengan menggunakan SEM Fei Inspect s50 dengan perbesaran 5.000-35.000 kali pada tegangan 20 kV dengan menggunakan detektor elektron sekunder (Gambar 3.17).

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan jenis mikroskop elektron yang digunakan untuk memindai gambar permukaan suatu sampel padat dengan menggunakan sinar elektron berenergi tinggi dalam pola pemindai piksel. Alat ini dapat digunakan untuk untuk mengetahui ukuran dan bentuk partikel dari suatu material. Pada SEM yang dilengkapi dengan EDX dapat menentukan komposisi internal partikel.



Gambar 3.17 Scanning Electron Microscope Fei Inspect s50

Prinsip kerja alat ini hampir sama dengan mikroskop optis, hanya berbeda pada penembak elektron yang digunakan sebagai sumber cahaya dengan energi 1-30 KeV dengan pemfokusan pada titik kecil kurang dari 10 nm (Gambar 3.18). Penembak elektron pada SEM, biasanya berupa filamen yang terbuat dari tungsten untuk memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda. Kemudian elektron akan melewati lensa magnetik yang berfungsi untuk memfokuskan elektron menuju ke sampel. Sinar elektron yang terfokus akan memindai keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai. Ketika elektron mengenai sampel, maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (*Cathode Ray Tube*). Pada SEM, dilengkapi dengan sistem vakum, hal ini karena elektron sangat kecil dan ringan, maka jika ada molekul udara yang lain elektron yang berjalan menuju sasaran akan terpengaruh oleh tumbukan sebelum mengenai sasaran sehingga menghilangkan molekul udara menjadi hal yang sangat penting.

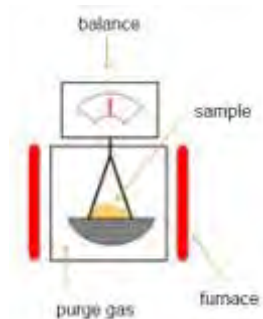


Gambar 3.18 Prinsip Kerja Scanning Microscope Electron

3.6.4 TGA-DSC (*Analysis-Differential Scanning Calorimetry*) material ZnO

Karakterisasi TGA-DSC dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Material dan Metalurgi ITS. Pengukuran DSC-TGA sampel serbuk ZnO dilakukan dengan dipanaskan dimulai dari suhu ruang (30°C) hingga 520° C dengan interval 5° C per menit dalam atmosfer N₂. (Lampiran C)

Thermogravimetry Analysis (TGA) merupakan suatu teknik untuk pengukuran variasi massa sampel yang berubah akibat perubahan temperatur pada kondisi atmosfer terkontrol. Pada Gambar 3.19, digunakan *termobalance* untuk pengukuran berat sampel sebagai fungsi temperatur. Sampel diletakkan bergantung pada timbangan dalam tanur, sementara timbangannya di luar tanur.



Gambar 3.19 Analisis *Thermogravimetri* (TGA)

Sementara *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) mengukur panas yang dilepas atau diserap selama transisi sampel akibat perlakuan temperatur (*Differential*: sampel relatif pada standar, *Scanning*: temperatur diatur, *Calorimeter*: pengukuran panas). DSC mengukur baik kualitatif maupun kuantitatif terkait sifat fisik dan kimia dengan memerlukan informasi tambahan (proses *endothermic*: sampel mengabsorpsi energi, proses *eksothermik*: sampel melepaskan energi: perubahan kapasitas panas). Pada DSC, dilakukan analisa dengan mengukur perbedaan kalor yang masuk ke dalam sampel dan pembanding sebagai fungsi temperatur (Ginting, dkk., 2005).



Gambar 3.20 TGA-DSC Mettler Toledo Star e-system

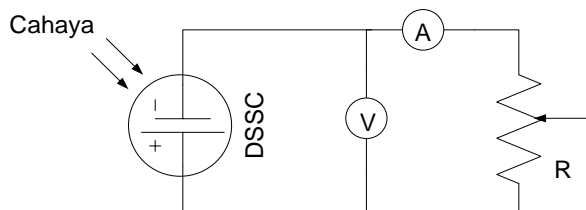
Analisa termal tersebut menggunakan TGA-DSC Metler Toledo Star e-system (Gambar 3.20). *Crucible* dan material referensi yang digunakan adalah Alumina 40 μ l. Sampel dipadatkan pada *holder*.

3.7 Pengujian Performansi DSSC

Pengujian performansi DSSC diperlihatkan dengan mengukur arus (I) dan tegangan (V) dengan memvariasikan besar hambatan dengan menggunakan potensiometer pada sinar matahari secara langsung serta dilakukan perhitungan intensitas cahaya menggunakan multimeter untuk menghitung arus dan tegangan yang diterima. Selain itu dilakukan pula pengukuran *Incident Photon to Current Conversion Efficiency* (IPCE).

3.7.1 Skema pengukuran I-V

Dengan melakukan pengukuran arus (I) dan tegangan (V), dapat diperoleh kurva I-V yang dapat digunakan untuk mencari besarnya efisiensi, *fill Factor* (FF dan J_{sc}) dari DSSC dengan menggunakan persamaan (2.5) dan persamaan (2.6). Pengukuran I-V dilakukan dibawah sinar matahari langsung dengan menggunakan rangkaian hambatan yang ditunjukkan pada Gambar 3.21.

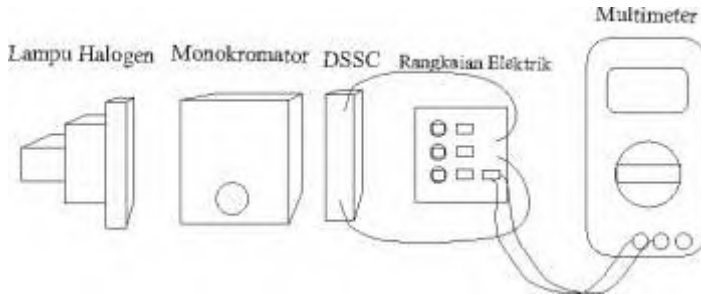


Gambar 3.21 Rangkaian hambatan untuk menghasilkan arus

3.7.2 Skema pengukuran IPCE

Pengukuran IPCE dilakukan di Laboratorium Rekayasa Fotonika ITS. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan monokromator (CT-10T, JASCO) dengan sumber cahaya lampu

halogen (GR-150). Pengukuran daya lampu halogen yang melewati monokromator diukur dengan menggunakan Optical Power Meter (Thorlab S-120C) dengan rentang panjang gelombang 350 sampai 700 nm. Pengukuran IPCE dengan menggunakan set up seperti yang diilustrasikan Gambar 3.22



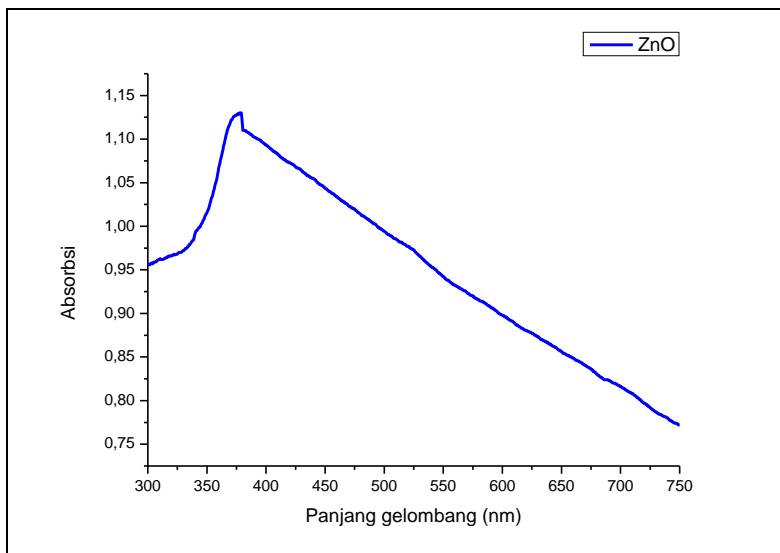
Gambar 3.22 Ilustrasi skema pengambilan data IPCE

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi ZnO dengan Variasi pH

4.1.1 Karakterisasi UV-Vis

Karakterisasi UV-Vis menggunakan sampel berupa larutan. Serbuk ZnO dilarutkan pada ethanol 99% (Merck) sebanyak 5 kali. Hasil dari pengujian untuk mendapatkan hubungan antara panjang gelombang dan kemampuan absorpsi pada material ZnO.



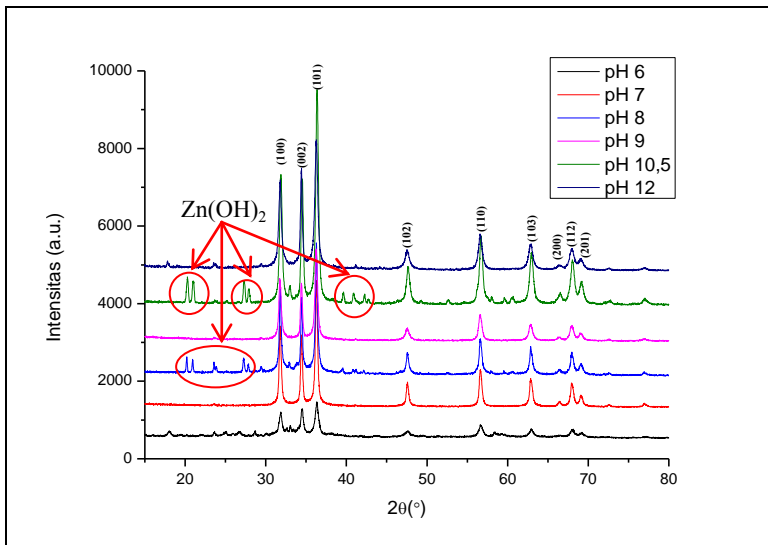
Gambar 4.1 Spektrum penyerapan UV-Vis ZnO

Pada Gambar 4.1 menunjukkan tingkat kemampuan absorpsi ZnO hasil sintesis pada puncak tertinggi sebesar 1,130 dengan panjang gelombang 379 nm. Dari data tersebut, dapat diperoleh besar energi pita celah dari ZnO dengan menggunakan persamaan (3.1), diketahui bahwa besar energi pita celah sebesar 3,27 eV. Hal ini bersesuaian dengan teori yang menyebutkan,

bahwa besar energi pita celah ZnO berada pada rentang 3,2 -3,3 eV (Uthirakumar,2011)

4.1.2 Karakterisasi XRD

Karakterisasi XRD dilakukan dengan mengkarakterisasi serbuk ZnO yang telah disintesis dan fotoelektroda ZnO yang telah dianil.



Gambar 4.2 XRD pada material ZnO dengan variasi pH

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa hasil sintesis ZnO memiliki puncak tertinggi pada bidang (100), (002), dan (101) berbentuk kristal heksagonal. Hal ini bersesuaian dengan data standar JCPDS No.89-0511. Ukuran partikel didapatkan dengan menggunakan persamaan (3.3)

Tabel 4.1 menunjukkan karakterisasi hasil XRD dari masing-masing variasi nilai pH. Dari tabel tersebut diketahui ukuran partikel, perbandingan c dan a, regangan kisi, dan juga kekuatan ikatan Zn dan O.

Tabel 4.1 Karakterisasi hasil XRD sintesis dengan variasi pH

pH	(hkl) *	2 θ	D (nm)	D rata	c/a	Lattice Strain	Zn-O Bond Strength
6	100	31,881	25,791	52,01	1,601	-0,354	1,970
	002	34,561	106,49				
	101	36,348	23,784				
	112	67,973	61,311				
7	100	31,785	57,289	53,04	1,605	0,185	1,978
	002	34,369	47,204				
	101	36,209	47,446				
	112	69,269	60,271				
8	100	32,922	70,691	68,75	1,65	0,038	1,932
	002	34,421	42,583				
	101	36,26	38,910				
	112	67,980	122,627				
9	100	31,873	85,953	64,13	1,608	0,135	1,974
	002	34,387	34,619				
	101	36,307	86,977				
	112	67,832	49,008				
10,5	100	31,955	57,313	40,61	1,604	-0,372	1,967
	002	34,568	34,636				
	101	36,341	37,290				
	112	68,008	33,238				
12	100	31,779	46,892	41,20	1,602	0,021	1,970
	002	34,427	47,212				
	101	36,290	37,285				
	112	67,879	35,015				

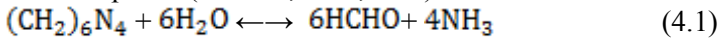
*lihat lampiran D

Dari Tabel 4.1 menunjukkan ukuran partikel dengan variasi pH adalah beragam pada tiap bidang (hkl). Hal ini dapat menunjukkan bahwa ZnO hasil sintesis memiliki bentuk morfologi berbeda yang dengan pertumbuhan yang berbeda pada tiap variasi pH.

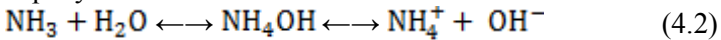
4.1.3 Karakterisasi SEM

Sintesis dilakukan dengan metode ko-presipitasi dengan menggunakan $[\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ dan HMTA

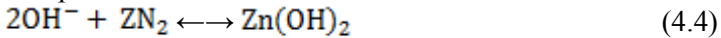
Reaksi dekomposisi (Al-lami, Jaber, 2014) :



Reaksi penyedia hidroksil :



Reaksi super saturasi :



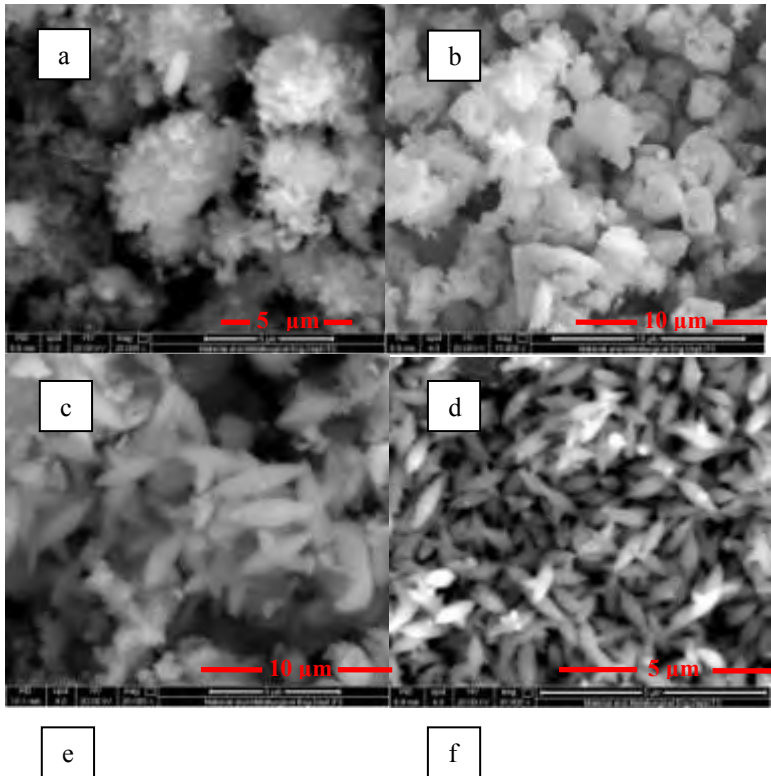
Reaksi pertumbuhan ZnO :

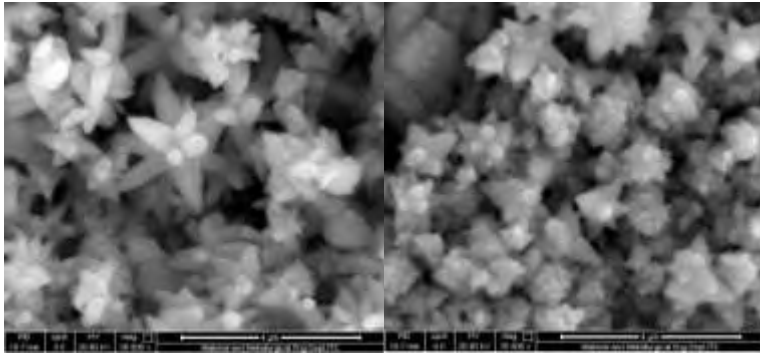


HMTA yang merupakan basa lemah dan sebagai penyangga pH telah terhidrolisis didalam aquades. HMTA yang digunakan sebagai prekursor didalam air pertama-tama akan terhidrolisis untuk memproduksi ion OH^- dan ammonia. Ion OH^- semakin bertambah banyak dengan penambahan KOH (basa kuat). Sehingga semakin banyak konsentrasi ion OH^- didalam larutan. HMTA didalam larutan akan membuat larutan berwarna putih susu. Hal ini menandakan bahwa ZnO mengalami dehidrasi dari hidroksil Zn (al-lami, 2014). Penambahan nilai pH secara umum akan mempengaruhi pertumbuhan ZnO. Secara umum pertumbuhan dan evolusi ZnO digambarkan melalui karakterisasi SEM pada Gambar 4.3.

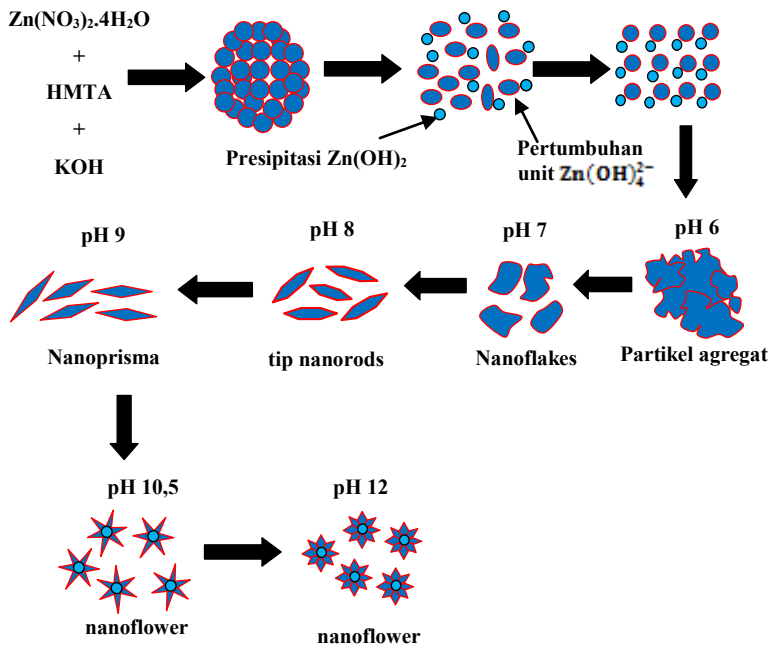
Pada saat pH asam (pH 6) memiliki banyak ion H^+ . Pada pH 6 serbuk ZnO menunjukkan adanya aglomerasi yang cukup besar sehingga membentuk partikel agregat. Sedangkan pH basa akan memiliki banyak ion OH^- . Ion OH^- digunakan untuk mengikat Zn untuk memproduksi ZnO. Dengan menggunakan KOH (basa kuat) yang terhidrolisis didalam aquades akan memproduksi lebih banyak ion OH^- . Pada pH 8 dan 9 yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 (c) dan (d) membentuk nanoprisma.

Sehingga, pembentukan partikel yang mengikat elektron ikatan atom-atom Zn^{2+} dan ion OH^- semakin besar dan membentuk cabang yang lebih banyak. Terlihat pada Gambar 4.3 (e) dan (f) dengan penambahan KOH dalam jumlah yang lebih besar hingga pH 10,5 dan 12 membentuk ikatan pada arah (112) sehingga bertumbuh cabang membentuk struktur *nanoflower*.





Gambar 4.3 SEM evolusi morfologi struktur ZnO *nanoflower* pada pH (a) 6, (b) 7, (c) 8, (d) 9, (e) 10,5, (f) 12.

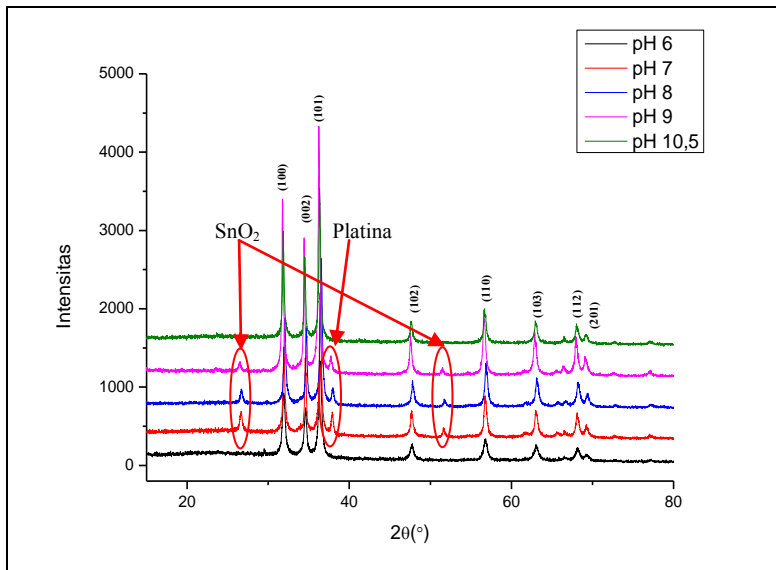


Gambar 4.4 Skema perubahan pertumbuhan ZnO dengan variasi penambahan nilai pH

Pada Gambar 4.4 menunjukkan skema perubahan pertumbuhan material ZnO dengan variasi pH. Dari hasil SEM, terlihat bahwa penambahan pH mempengaruhi dari pembentukan morfologi dan pertumbuhan ZnO tersebut. Dimana semakin besar nilai pH, akan membentuk cabang ke (112) yang semakin besar.

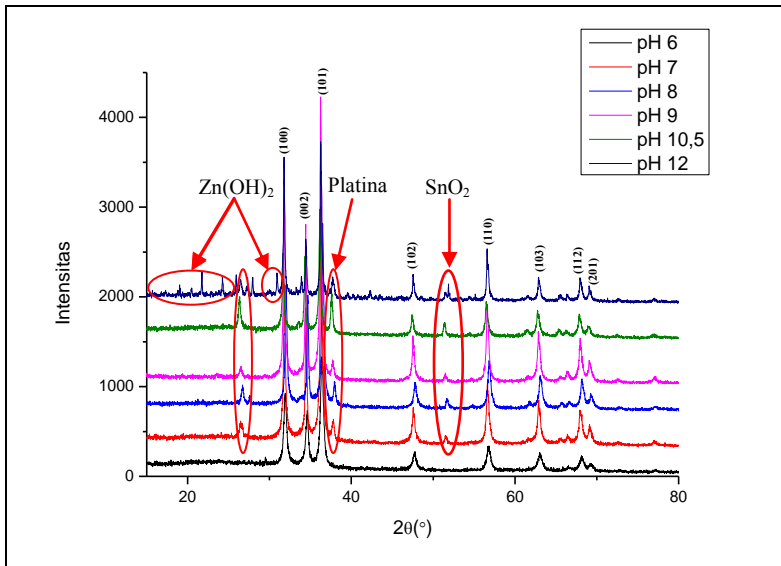
4.2 Karakterisasi Fotoelektroda ZnO dengan Variasi pH

Pada Gambar 4.5 menunjukkan lapisan tipis dengan anil pada suhu 300°C selama 60 menit memperlihatkan munculnya puncak baru selain ZnO. Puncak baru ini berasal dari $\text{Zn}(\text{OH})_2$ yang belum terurai menjadi ZnO dan H_2O . Pada pH 12, saat dilakukan anil suhu 300°C selama 60 menit menghasilkan pasta yang kembali mencair pada saat didinginkan suhu ruang dan tidak menempel pada kaca TCO. Dengan munculnya kasus ini, maka fabrikasi dengan pH 12 tidak dapat dilakukan.



Gambar 4.5 XRD pada lapisan tipis ZnO di TCO berbasis Yonekawa dengan anil 300°C selama 60 menit

Pada Gambar 4.6 menunjukkan fotoelektroda ZnO yang telah dianil pada suhu 200°C selama 30 menit menunjukkan puncak yang hampir sama dengan fotoelektroda yang dianil pada suhu 300°C selama 60 menit. Secara umum, pada hasil XRD pada saat dianil sesuai dengan data JCPDS No. 35-145. Puncak memperlihatkan puncak dengan intensitas tertinggi pada bidang (100), (002), dan (001) dengan bentuk heksagonal. Adanya puncak yang berbeda dengan JCPDS, hal ini dikarenakan puncak tersebut berasal dari kaca TCO yang digunakan dimana terdapat SnO_2 dan platina.



Gambar 4.6 XRD pada lapisan tipis ZnO di TCO berbasis Yonekawa dengan anil 200°C selama 30 menit

Tabel dibawah ini menunjukkan karakterisasi hasil XRD fotoelektroda pada variasi temperatur anil pada suhu 300°C selama 60 menit (Tabel 4.2) dan suhu 200°C selama 30 menit. Dari tabel tersebut diketahui ukuran partikel, perbandingan c dan a, regangan kisi, dan kekuatan ikatan Zn-O.

Ukuran partikel dihitung menggunakan persamaan (3.3). Secara keseluruhan, ukuran partikel meningkat lebih besar 1,5 hingga 2 kali lipat lebih besar setelah dianil. Pada Tabel 4.2 dilihat bahwa ukuran terbesar yaitu 94,18 nm pada saat pH 10,5. Sedangkan dari Tabel 4.3 dilihat bahwa ukuran partikel rata-rata menurun pada fotoelektroda ZnO dengan pH 6 dan 7. Namun, pada fotoelektroda ZnO dengan pH yang cenderung basa memiliki ukuran partikel jauh lebih besar ketika dianil pada suhu 200°C dibandingkan dengan dianil pada suhu 300°C. Ukuran partikel terbesar pada anil 200°C sebesar 107,53 nm.

Tabel 4.2 Karakterisasi hasil XRD fotoelektroda ZnO pada suhu 300°C selama 60 menit

pH	(hkl)*	2 θ	D (nm)	D rata (nm)	c/a	Lattice Strain	Zn-O Bond Strength
6	100	31,8883	73,69	76,9	1,59	-0,485	1,969
	002	34,6089	28,86				
	101	36,5254	107,08				
	112	67,774	97,98				
7	100	32	57,3	76,07	1,603	-0,372	1,969
	002	34,5681	86,55				
	101	36,3809	85,63				
	112	68,063	74,82				
8	100	32,0729	51,6	57,65	1,634	-0,715	1,972
	002	34,6916	74,23				
	101	36,5061	43,53				
	112	68,1829	61,38				
9	100	31,8853	73,69	83,95	1,601	-0,329	1,970
	002	34,553	64,94				
	101	36,3703	74,58				
	112	67,9615	122,6				
10,5	100	31,8534	64,49	94,18	1,604	-0,164	1,971
	002	34,4941	74,19				
	101	36,3247	74,577				

	112	68,0089	163,5				
--	-----	---------	-------	--	--	--	--

*lihat lampiran D

Berdasarkan JCPDS no. 35-1451, maka didapatkan dimensi kisi kristal diketahui bahwa nilai $a=b=3,249\text{\AA}$ dan $c=5,213\text{\AA}$ dengan nilai $c/a=1,602$. Tabel 4.2 menunjukkan bahwa nilai c/a ZnO mengalami perubahan yang tidak jauh beda dengan standar. Dari anil suhu 300°C dengan variasi pH, yang terlihat berbeda adalah fotoelektroda ZnO dengan pH 8 yang memiliki nilai c/a sebesar 1,634, nilai ini lebih besar dari JCPDS sebesar 1,602. Pada fotoelektroda ZnO dengan dianil pada suhu 200°C menunjukkan nilai c/a yang lebih mendekati standar JCPDS (Tabel 4.3).

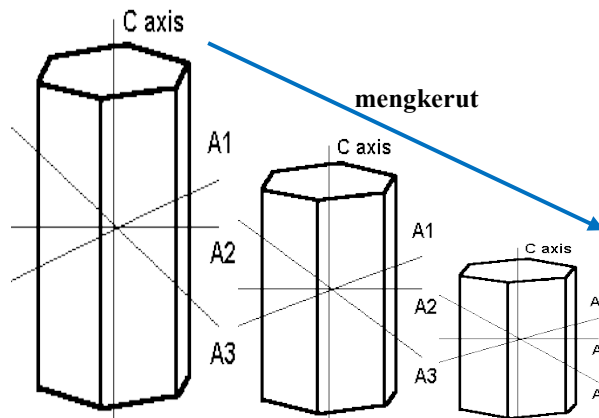
Tabel 4.3 Karakterisasi hasil XRD fotoelektroda pada suhu 200°C selama 30 menit

pH	(hkl)*	2 θ	D (nm)	D rata (nm)	c/a	Lattice Strain	Zn-O Bond Strength
6	100	31,8883	73,7	70,3	1,599	-0,488	1,969
	002	34,6089	28,8				
	101	36,264	107,6				
	112	67,774	97,98				
7	100	31,8001	73,68	67,95	1,602	-0,065	1,976
	002	34,4586	64,93				
	101	36,2882	65,26				
	112	67,9349	54,36				
8	100	31,994	70,52	91,3	1,602	-0,638	1,964
	002	34,6637	60,87				
	101	36,5899	142,8				
	112	68,968	123,8				
9	100	31,7671	73,67	107,53	1,598	-0,228	1,976
	002	34,5168	141,9				
	101	36,352	107,03				
	112	68,0461	59,8				
10,5	100	31,642	128,91	106,57	1,601	-0,443	2,180
	002	34,3047	103,87				
	101	36,1277	86,93				

	112	67,8319	61,26				
12	100	31,7739	85,93	91,17	1,601	-0,087	1,977
	002	34,4521	106,47				
	101	36,3633	142,71				
	112	61,5555	29,58				

*lihat lampiran D

Dari hasil proses anil, baik pada suhu 300° C dan 200°C menunjukkan partikel yang rata-rata cenderung mengkerut, ditandai dengan hasil yang negatif(-). Nilai regangan kisi terbesar yaitu pada pH 10,5 dengan suhu anil 200°C sebesar -0443. Hal ini menunjukkan bahwa temperatur merupakan faktor yang berpengaruh terhadap parameter regangan kisi (Ozgur,et.al, 2005).



Gambar 4.7 Skema efek dari regangan kisi

Semakin besar nilai regangan kisi maka ZnO semakin mengalami regangan yang mengembang, sebaiknya semakin kecil nilai regangan kisi maka ZnO mengalami regangan yang mengkerut. Skema efek dari regangan kisi ZnO ditunjukkan pada Gambar 4.7.

Dari tabel 4.2 dan 4.3 didapatkan pula panjang ikatan Zn dan O rata-rata meningkat setelah dianil pada suhu 200°C dibandingkan dengan anil pada suhu 300°C. Ikatan Zn-O yang

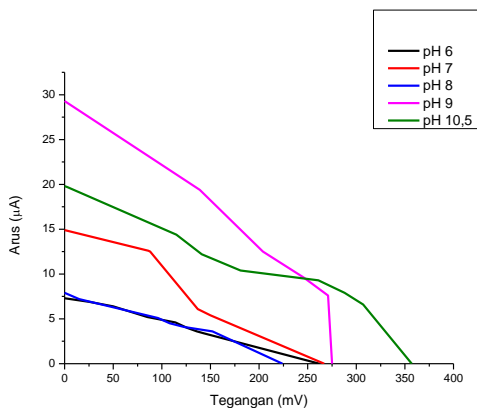
terkuat diketahui pada saat nilai pH 10,5 dengan anil pada suhu 200°C sebesar 2,18.

Dari hasil karakterisasi XRD yang telah dilakukan, secara umum, dapat dikatakan bahwa proses anil mempengaruhi dari ukuran partikel, nilai c/a , regangan kisi, dan juga panjang ikatan Zn dan O.

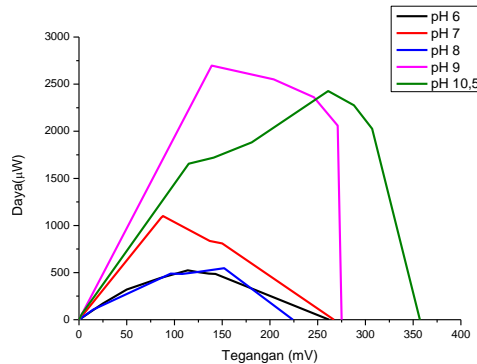
4.3 Performansi DSSC dengan variasi pH

Pengukuran I-V dan P-V untuk membuat kurva dilakukan dengan pengukuran sampel DSSC yang telah difabrikasi. Pengukuran dilakukan dibawah sinar matahari secara langsung pada 11.00-14.00 WIB. Pengambilan data menggunakan rangkaian hambatan. Dengan memvariasikan hambatan tersebut, maka nilai tegangan dan arus dapat diketahui dengan menggunakan multimeter digital.

Gambar 4.8 (a) dan (b) merupakan hasil pengukuran I-V dan P-V dari DSSC berbasis metode Yonekawa dengan anil pada suhu 300°C selama 60 menit.



(a)



(b)

Gambar 4.8 Plot kurva berbasis metode Yonekawa pada suhu anil 300°C selama 60 menit a) I-V dan b) P-V

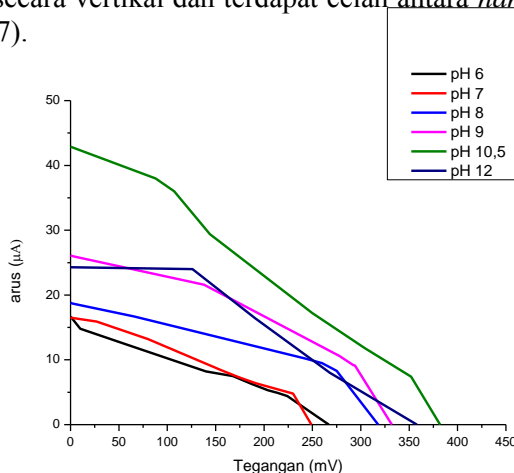
Dari gambar 4.8 dapat dilihat bahwa dengan anil pada suhu 300°C selama 60 menit menunjukkan pada pH 9 memiliki efisiensi terbesar sebesar 0,07 % sedangkan pada pH 10,5 memiliki efisiensi sebesar 0,06% . Hal ini berlawanan dengan teori. Berdasarkan teori, seharusnya pH 10,5 memiliki efisiensi yang lebih besar karena memiliki morfologi *nanoflower* dimana struktur acaknya yang memiliki luasan lebih besar dalam mengumpulkan cahaya.

Hal ini terjadi karena beberapa hal. Pertama, kualitas pasta kurang bagus dikarenakan suhu anil yang terlalu tinggi membuat fotoelektroda ZnO tidak dapat menempel sempurna pada kaca TCO dan mudah terhapus. Selain itu, berdasarkan hasil uji DSC-TGA (lampiran C) menunjukkan bahwa material ZnO yang dipanaskan pada suhu yang terlalu tinggi akan mengalami dekomposisi. Hal ini juga terjadi pada nilai pH terbesar yaitu pH 12, sehingga tidak dapat difabrikasi menggunakan anil suhu 300°C.

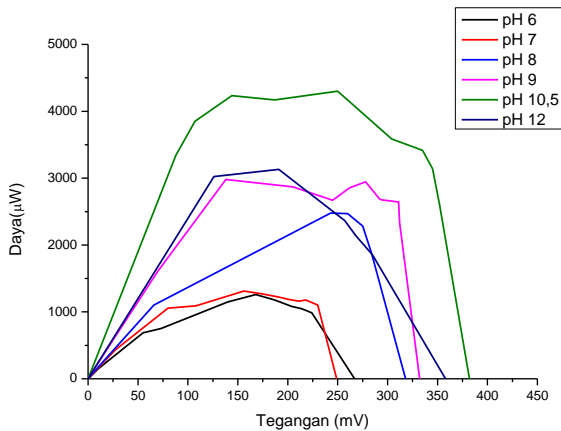
Untuk membuktikan pengaruh temperatur terhadap anil, dalam penelitian ini telah dilakukan variasi anil lainnya sebesar 200°C selama 30 menit.

Pada Gambar 4.9 (a) dan (b) menunjukkan kurva I-V dan P-V dengan anil pada suhu 200°C selama 30 menit. Dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa efisiensi terbesar pada pH 10,5 sebesar 0,11% dengan FF sebesar 0,25%. Hal ini bersesuaian dengan teori bahwa dengan struktur *nanoflower* memiliki efisiensi lebih baik.

Jika dibandingkan dengan efisiensi nanopartikel ZnO sebesar 0,11% (Syukron, 2013), efisiensi *nanoflower* hampir sama. Walaupun sebenarnya ZnO *nanoflower* ini memiliki I_{sc} dan V_{oc} yang lebih besar, namun pada kurva menunjukkan P_{max} yang kurang maksimal dan juga nilai FF yang kecil. Nilai FF berpengaruh pada nilai hambatan internal dari FTO/ZnO, elektrolit, dan kaca TCO (Dutta, dkk., 2012; Yonekawa, dkk., 2012). Sedangkan dibandingkan dengan ZnO nanorod dengan efisiensi sebesar 0,04% (Mahendra, 2014), efisiensi ZnO *nanoflower* berada di atasnya. Hal ini dikarenakan stuktur acak dari *nanoflower* memberikan luasan yang lebih besar dalam penerimaan cahaya dibandingkan dengan ZnO *nanorod* yang tersusun secara vertikal dan terdapat celah antara *nanorod*. (Jiang dkk., 2007).



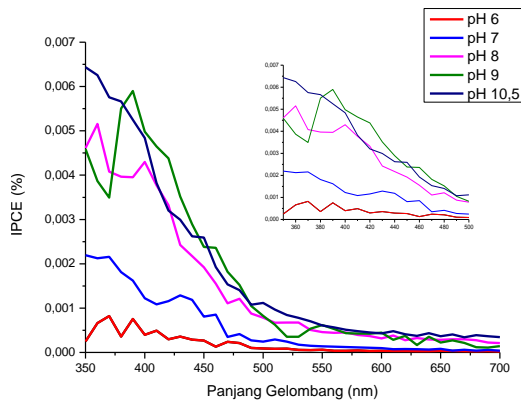
(a)



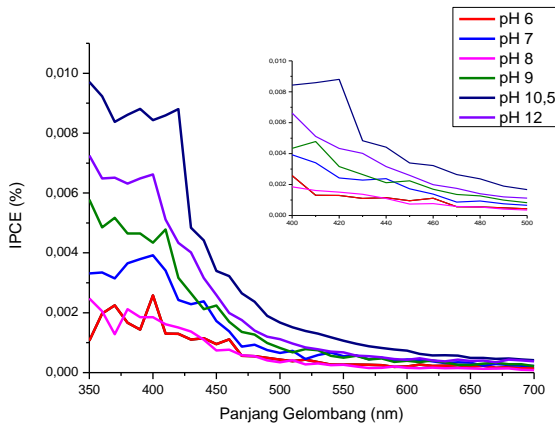
(b)

Gambar 4.9 Plot kurva berbasis metode Yonekawa pada suhu anil 200°C selama 30 menit a) I-V dan b) P-V.

Selain menggunakan kurva I-V dan P-V untuk mengetahui performansi DSSC, dilakukan pula pengukuran IPCE dari fotoelektroda ZnO. Bentuk kurva dari penyerapan dan spektra IPCE dari pewarna kulit manggis ditunjukkan pada Gambar 4.10



(a)



(b)

Gambar 4.10 Kurva IPCE dengan anil suhu a) 300°C selama 60 menit dan b) 200°C selama 30 menit

Pada kurva absorbansi pewarna kulit manggis (lampiran A), puncak serapan terletak pada 393 nm dan mengalami pergeseran setelah dilakukan perendaman fotoelektroda ZnO pada pewarna. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi proses transisi energi di mana terdapat perpindahan elektron dari pewarna ke permukaan ZnO (Tianyou Peng, dkk., 2010). Hal ini juga terjadi pada TiO_2 yang menunjukkan adanya pergeseran ke arah panjang gelombang warna biru di mana letak serapan dari *antocyanin* tipe *cyanidin* (Hao, 2005; Wahyuono, 2013).

Nilai masing-masing IPCE untuk suhu anil 300°C adalah 0,00092 (pH 6), 0,00392 (pH 7), 0,00515 (pH 8), 0,00589 (pH 9), 0,00575 (pH 10,5), 0,00686 (pH 12). Nilai IPCE untuk pH 9 lebih besar daripada pH 10,5, ini juga selaras dengan hasil kurva I-V yang telah dilakukan. Sedangkan untuk suhu anil 200°C selama 30 menit didapat nilai IPCE untuk masing-masing nilai pH yaitu 0,00082 (pH 6), 0,00392 (pH 7), 0,00212 (pH 8), 0,00478 (pH 9), 0,00880 (pH 10,5), 0,00686 (pH 12). Menurunnya puncak gelombang diakibatkan berkurangnya kemampuan penyerapan pewarna akibat interaksi antara permukaan ZnO dan pewarna (Tianyou Peng, dkk., 2010).

Dari hasil percobaan IPCE yang telah dilakukan dapat dikatakan bahwa penambahan nilai pH, suhu anil dan kualitas pasta berpengaruh pula terhadap IPCE yang dihasilkan.

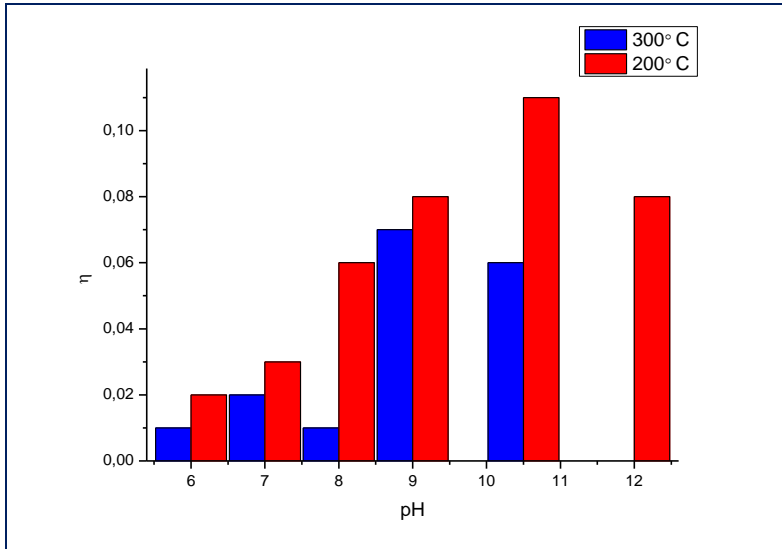
Tabel 4.4 menunjukkan performansi DSSC secara umum. Dapat dilihat bahwa pH 10,5 dengan bentuk struktur nanoflower memiliki efisiensi tertinggi dengan anil pada suhu 200° C selama 30 menit. Efisiensi sebesar 0,11 %, V_{oc} 382 mV, J_{sc} 0,11 mA/cm², FF 0,25 %, dan IPCE sebesar 0,008611 %.

Tabel 4.4 Performansi DSSC berdasarkan variasi nilai pH dan suhu serta waktu anil

pH	Suhu anil (°C)	V_{oc} (mV)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF (%)	η (%)	IPCE (%)
6	200	267	0,04	0,28	0,02	0,000927
	300	262	0,02	0,27	0,01	0,000822
7	200	249	0,04	0,31	0,03	0,003921
	300	267	0,04	0,27	0,02	0,002193
8	200	318	0,05	0,41	0,06	0,002120
	300	224	0,02	0,32	0,01	0,005156
9	200	332	0,07	0,34	0,08	0,004853
	300	273	0,08	0,33	0,07	0,005899
10,5	200	382	0,11	0,25	0,11	0,008801
	300	357	0,05	0,34	0,06	0,005757
12	200	358	0,06	0,36	0,08	0,006686
	300	-	-	-	-	-

Dari Gambar 4.11 dilihat bahwa temperatur anil berpengaruh terhadap efisiensi DSSC. Temperatur anil yang

terlalu tinggi sekitar 300°C menyebabkan fotoelektroda ZnO mengalami degradasi ZnO sehingga kualitas fotoelektroda menjadi menurun dan hal ini berdampak terhadap efisiensi semakin kecil dibandingkan dengan anil pada suhu 200°C.



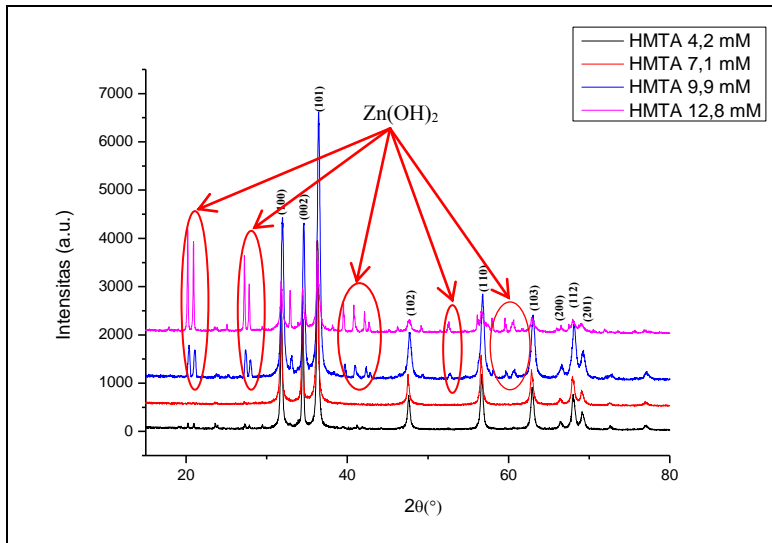
Gambar 4.11 Pengaruh temperatur anil terhadap efisiensi DSSC dengan metode Yonekawa berbasis pewarna manggis

4.4 Karakterisasi ZnO dengan Variasi Jumlah HMTA

4.5.1 Karakterisasi XRD ZnO dengan variasi jumlah HMTA

Pada penelitian ini, setelah didapatkan hasil terbaik dengan variasi pH, selanjutnya akan dilakukan variasi jumlah HMTA dengan pH tetap (10,5).

Dapat dilihat pada Gambar 4.12 bahwa dengan jumlah sebanyak 12,8 mM terlihat banyak puncak yang berbeda dengan JCPDS no.89-0511. Hal ini disebabkan karena reaksi yang kurang sempurna dengan penambahan HMTA berlebihan yang menyebabkan adanya $\text{Zn}(\text{OH})_2$ yang tidak terpisah saat sintesis maupun saat dipanaskan hingga menjadi serbuk.



Gambar 4.12 XRD material ZnO untuk pH 10,5 dengan variasi jumlah HMTA

Tabel 4.5 menunjukkan karakterisasi hasil XRD berupa ukuran partikel, regangan kisi, dan kekuatan ikatan antara Zn dan O. Dapat dilihat bahwa ukuran partikel berkisar antara 40 nm hingga 90 nm. Pada variasi jumlah HMTA sebanyak 7,1 mM dan 12,8 mM memiliki ukuran partikel yang cukup besar. Hal ini dikarenakan masih banyak terjadinya aglomerasi pada hasil sintesis yang dikarenakan reaksi pembentukan yang tak sempurna.

Tabel 4.5 Karakterisasi hasil XRD sintesis untuk pH 10,5 dengan variasi jumlah HMTA

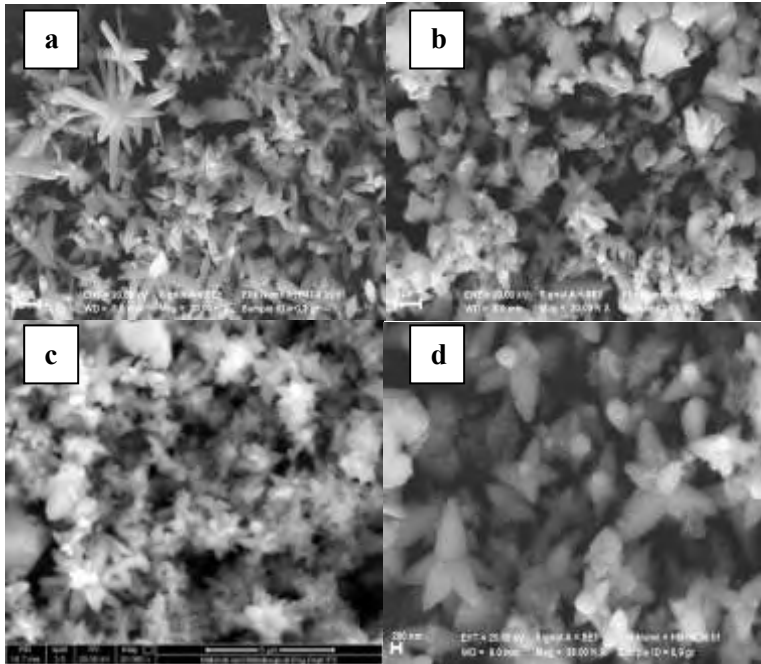
HMTA (mM)	(hkl)*	2 θ	D (nm)	D rata (nm)	c/a	Lattice Strain	Zn-O Bond Strength
4,2	100	31,8024	46,89	49,38	1,602	-0,06	1,975
	002	34,4594	51,92				
	101	36,2911	43,5				
	112	8,0199	55,23				
7,1	100	31,7636	73,67	90,31	1,59	-0,201	1,976
	002	34,5072	141,97				
	101	36,2401	47,55				
	112	67,9429	98,08				
9,9	100	31,9554	57,31	40,61	1,604	-0,372	1,967
	002	34,5681	34,63				
	101	36,3416	37,29				
	112	68,0082	33,23				
12,8	100	31,7873	64,48	80,32	1,58	-1,123	1,970
	002	34,8392	142,1				
	101	36,2799	53,5				
	112	67,9407	61,2				

*lihat lampiran D

4.5.2 Karakterisasi SEM ZnO dengan variasi jumlah HMTA

Karakterisasi yang dilakukan selanjutnya adalah SEM. Dapat dilihat pada gambar 4.12 bahwa dengan penambahan jumlah HMTA, mempengaruhi pertumbuhan dari ZnO terhadap panjang dan penampang melintang. Penambahan sedikit jumlah HMTA akan membuat pertumbuhan ZnO menjadi lebih runcing yang ditunjukkan pada Gambar 4.13(a) dan semakin besar penambahan jumlah HMTA membuat pertumbuhan ZnO menjadi tumpul dan mengembang. Hal ini terbukti pada Gambar 4. 13(d) hasil SEM dengan penambahan jumlah HMTA sebanyak 12,8 mM menunjukkan morfologi *nanoflower* dengan penampang

melintang yang paling mengembang dibandingkan dengan morfologi lainnya.



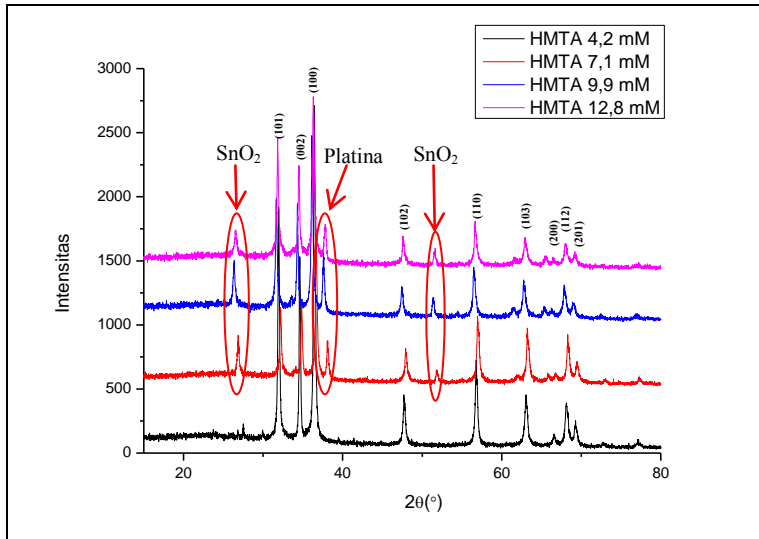
Gambar 4.13 SEM evolusi morfologi struktur ZnO *nanoflower* untuk pH 10,5 dengan variasi jumlah HMTA (a) 4,2 mM, (b) 7,1 mM, (c) 9,9 mM, (d) 12,8 mM.

4.5 Karakterisasi XRD fotoelektroda ZnO dengan variasi jumlah HMTA

Pada Gambar 4.14, menunjukkan hasil XRD dari fotoelektroda ZnO dengan variasi jumlah HMTA yang dianil pada suhu 200°C selama 30 menit.

Dari Gambar 4.14, terlihat bahwa temperatur anil berpengaruh terhadap kandungan ZnO dengan variasi jumlah HMTA. Fotoelektroda ZnO dengan jumlah HMTA sebanyak 9,9 mM, dimana puncak-puncak pada saat sintesis menjadi hilang.

Hal ini dikarenakan HMTA yang mengalami penguapan pada saat sintering dengan suhu 200°C selama 30 menit.



Gambar 4.14 XRD pada lapisan tipis ZnO di TCO berbasis Yonekawa untuk pH 10,5 dengan variasi jumlah HMTA

Dari gambar tersebut, terlihat bahwa temperatur anil berpengaruh terhadap kandungan ZnO dengan variasi jumlah HMTA. Fotoelektroda ZnO dengan jumlah HMTA sebanyak 9,9 mM, dimana puncak-puncak pada saat sintesis menjadi hilang. Hal ini dikarenakan HMTA yang mengalami penguapan pada saat sintering dengan suhu 200°C selama 30 menit.

Pada Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa nilai perbandingan c dan a tidak terlalu jauh JCPDS yaitu 1,602. Regangan kisi dari fotoelektroda dengan anil pada suhu 200°C selama 30 menit menunjukkan bahwa ZnO cenderung untuk mengkerut. Kekuatan ikatan Zn-O terbesar terdapat pada fotoelektroda ZnO dengan penambahan nilai HMTA 9,9 mM.

Tabel 4.6 Karakterisasi hasil XRD fotoelektroda ZnO untuk pH 10,5 dengan variasi jumlah HMTA.

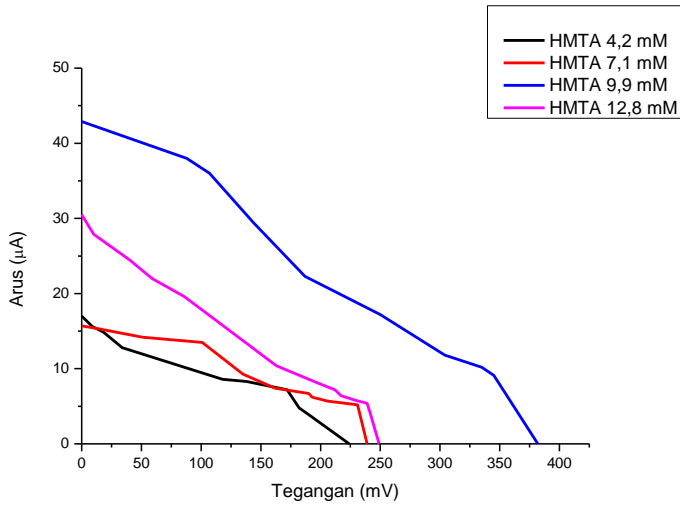
HMTA (mM)	(hkl) *	2 θ	D (nm)	D rata (nm)	c/a	Lattice Strain	ZnO Bond Strength
4,2	100	31,9406	51,59	77,35	1,602	-0,443	1,968
	002	34,5935	74,21				
	101	36,5334	142,7				
	112	68,1143	40,9				
7,1	100	32,1768	73,75	62,45	1,603	-1,113	1,954
	002	34,8356	51,9				
	101	36,6493	74,64				
	112	66,7123	49,49				
9,9	100	31,642	128,91	106,57	1,601	-0,443	2,180
	002	34,3047	103,87				
	101	36,1277	86,93				
	112	67,8319	61,26				
12,8	100	31,8285	64,48	61,80	1,603	-0,087	1,974
	002	34,4665	57,68				
	101	36,2872	65,26				
	112	67,9517	59,8				

*lihat lampiran D

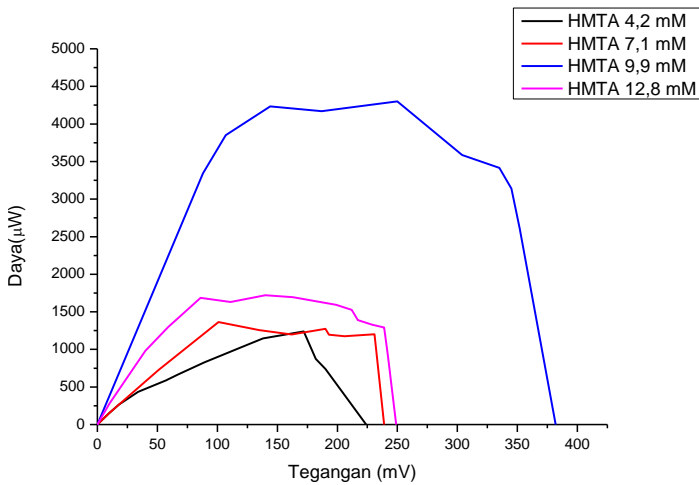
4.6 Performansi DSSC dengan Variasi Jumlah HMTA

Performansi DSSC dengan variasi jumlah HMTA juga dilakukan dengan menggunakan kurva I-V dan kurva P-V.

Pada Gambar 4.15 menunjukkan kurva I-V dan P-V dari variasi jumlah HMTA dengan pH tetap. Dapat dilihat bahwa efisiensi tertinggi dimiliki oleh HMTA 9,9 mM dengan efisiensi mencapai 0,11%.



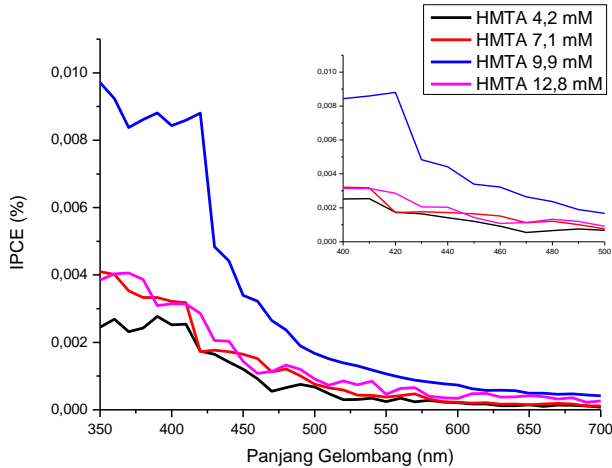
(a)



(b)

Gambar 4.15 Plot kurva DSSC untuk pH 10,5 dengan variasi jumlah HMTA menggunakan metode Yonekawa
a) I-V dan b) P-V

Pada Gambar 4.16 menunjukkan bahwa nilai IPCE terbesar yaitu pada saat penambahan jumlah HMTA sebanyak 9,9 mM. Sedangkan untuk penambahan HMTA 4,2 mM, 7,1 mM, dan 12,8 mM cenderung turun.



Gambar 4.16 Kurva IPCE DSSC untuk pH 10,5 dengan variasi jumlah HMTA menggunakan metode Yonekawa

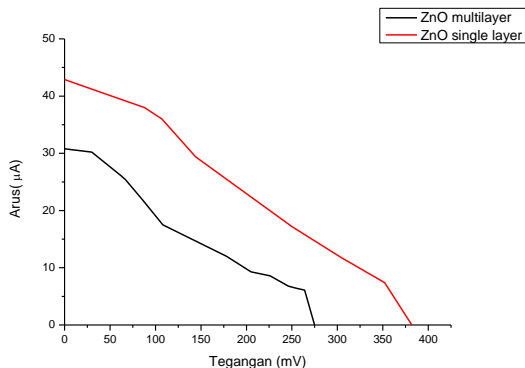
Pada Tabel 4.7 menunjukkan performansi DSSC secara umum, dimana pada DSSC pH 10,5 dengan variasi jumlah HMTA 9,9 mM didapat efisiensi terbaik 0,11%, V_{oc} 382 mV, J_{sc} 0,11 mA/cm², FF 0,25%.

Tabel 4.7 Performansi DSSC untuk pH 10,5 dengan variasi jumlah HMTA

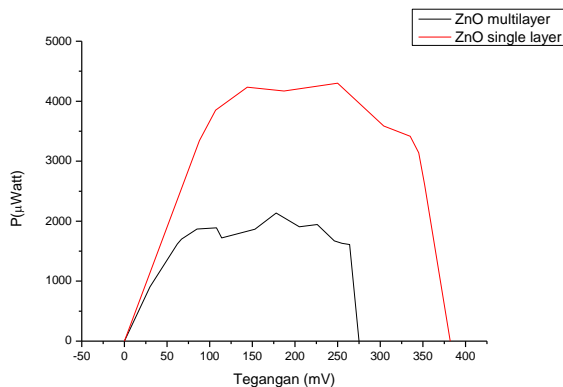
HMTA (mM)	Suhu anil (°C)	V_{oc} (mV)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF (%)	η (%)	IPCE (%)
4,2	200	224	0,04	0,32	0,03	0,002768
7,1	200	239	0,04	0,36	0,03	0,003335
9,9	200	382	0,11	0,25	0,11	0,008801
12,8	200	249	0,08	0,22	0,04	0,003146

4.7 Performansi DSSC dengan Menggunakan Pewarna Berlapis

Pada gambar 4.17 (a) ditunjukkan kurva I-V dan P-V ZnO *nanoflower* yang disintesis pada pH 10,5 dan jumlah HMTA sebanyak 9,9 mM. Pasta dipreparasi pada kaca TCO dengan suhu anil 200°C selama 30 menit.



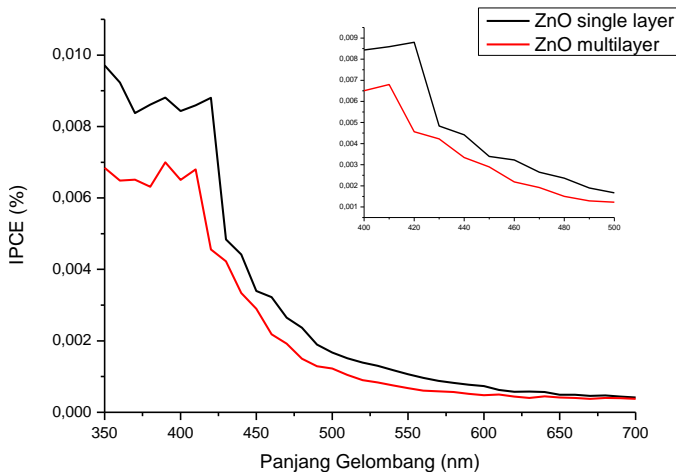
(a)



(b)

Gambar 4.17 Plot kurva DSSC dengan variasi pewarna satu lapis dan multi lapis a) I-V dan b) P-V

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan fabrikasi DSSC TiO_2 dengan menggunakan pewarna multilapis dari kulit manggis, wortel, dan kunyit (Sidik, 2014). Dengan menggunakan TiO_2 , menghasilkan V_{oc} sebesar 343,2 mV dan I_{sc} sebesar 77,7 μA . Nilai ini yang lebih besar bila dibandingkan dengan ZnO yang hanya memiliki V_{oc} sebesar 275 mV dan I_{sc} sebesar 30,8 μA . Hal ini dikarenakan pewarna multilapis pada ZnO menyebabkan degradasi pada fotoelektroda ZnO sehingga menyebabkan penurunan efisiensi.



Gambar 4.18 Kurva IPCE DSSC dengan variasi pewarna satu lapis dan multi lapis menggunakan metode Yonekawa.

Pada gambar 4.18 menunjukkan spektra IPCE DSSC dengan menggunakan pewarna satu lapis dan multilapis. DSSC rata-rata menunjukkan puncak berada gelombang sekitar 390-410 nm. Hal ini dikarenakan pewarna antosianin yang didalamnya terdapat sianidin telah menempel pada ZnO. Hal ini dapat dibandingkan

dengan hasil uji UV-Vis pada pewarna kulit manggis. (Lampiran A)

Pada Tabel 4.8 menunjukkan performansi DSSC secara umum, dimana pada variasi jumlah HMTA didapat efisiensi terbaik 0,11%, V_{oc} 382 mV, J_{sc} 0,11 mA/cm², FF 0,25%.

Tabel 4.8 Performansi DSSC berdasarkan variasi pewarna

Pewarna	Suhu anil (°C)	V_{oc} (mV)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF (%)	η (%)	IPCE (%)
Single	200	382	0,11	0,25	0,11	0,008801
Multi	200	275	0,08	0,22	0,05	0,003335

BAB V

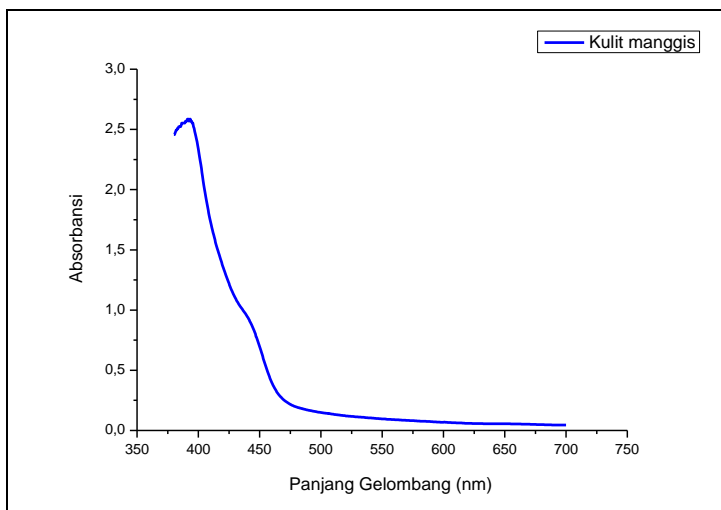
KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan:

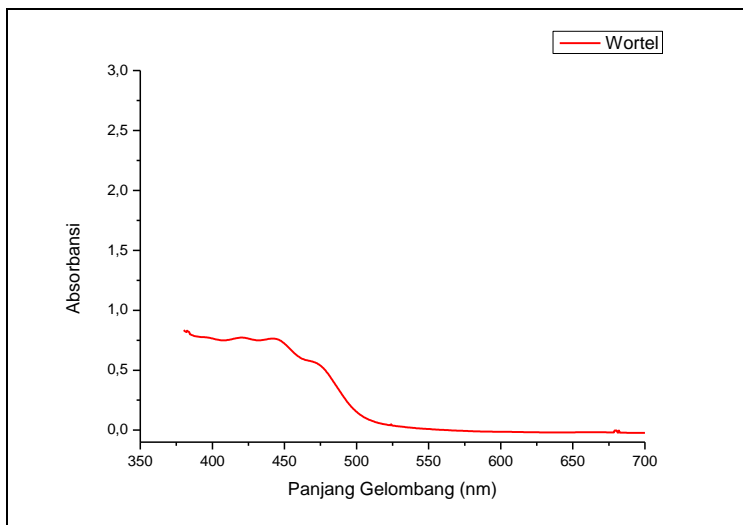
1. Telah disintesis ZnO *nanoflower* dengan variasi derajat keasamaan dan *stabilizer* HMTA sebagai fotoelektroda DSSC ZnO dengan metode kopresipitasi. Pada sintesis ZnO, semakin besar nilai pH maka pertumbuhan ZnO lebih cenderung pada arah (112) dengan membentuk cabang yang semakin banyak.
2. Performansi DSSC:
 - a. Penambahan nilai pH mempengaruhi efisiensi DSSC. Performansi terbaik variasi pH dengan preparasi pasta berbasis metode Yonekawa yaitu pH 10,5 pada temperatur anil 200° C selama 30 menit dengan efisiensi sebesar 0,11%, V_{oc} 382 mV, J_{sc} 0,11 mA/cm², dan FF 0,25%.
 - b. Jumlah HMTA juga mempengaruhi efisiensi. Didapatkan performansi terbaik dengan menggunakan variasi HMTA dengan preparasi pasta berbasis metode Yonekawa yaitu dengan HMTA sebesar 9,9 mM didapatkan efisiensi sebesar 0,11%, V_{oc} 382 mV, J_{sc} 0,11 mA/cm², dan FF 0,25%.

Halaman ini memang dikosongkan.

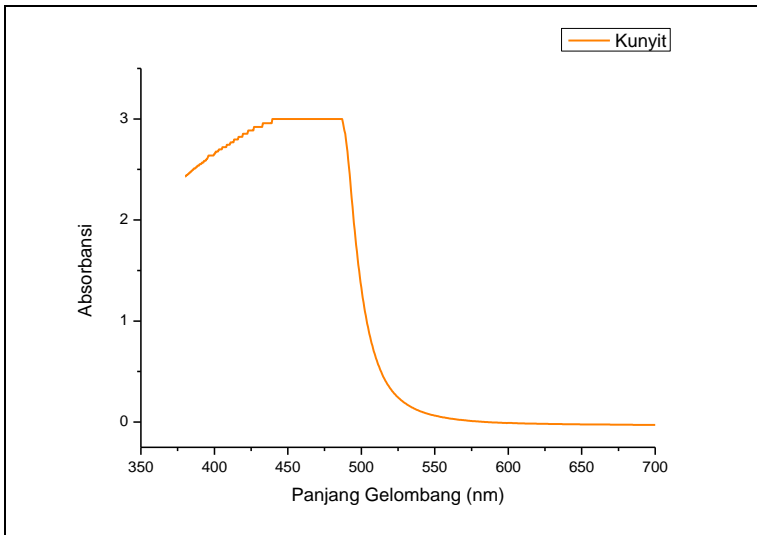
LAMPIRAN A



Gambar A1 Spektrum penyerapan UV-Vis pewarna kulit manggis

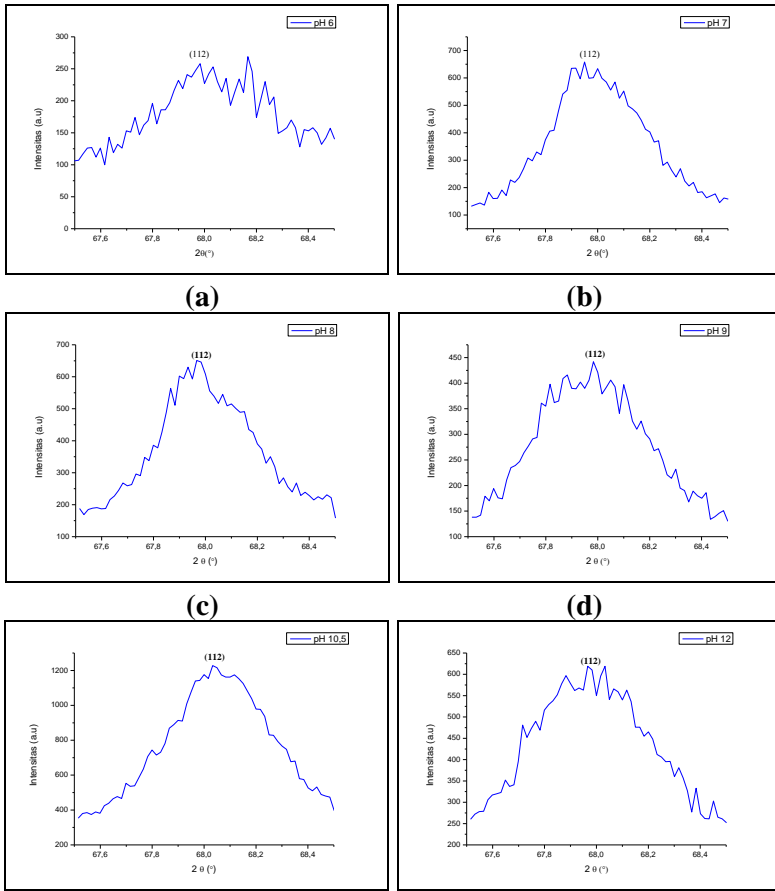


Gambar A2 Spektrum penyerapan UV-Vis pewarna wortel

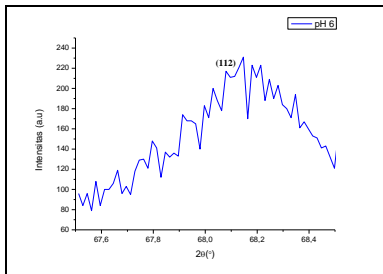


Gambar A3 Spektrum penyerapan UV-Vis pewarna kulit manggis

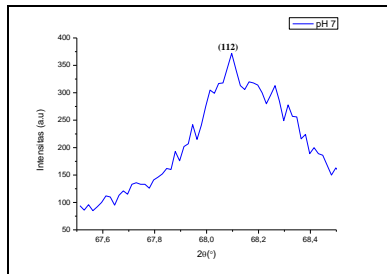
LAMPIRAN B



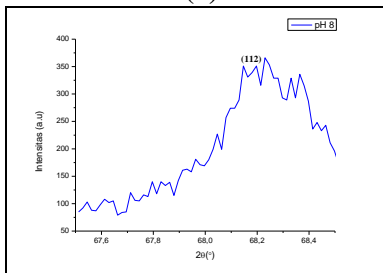
(e) (f)
Gambar B1 Spektrum XRD hkl (112) ZnO pada pH (a) 6, (b) 7, (c) 8, (d) 9, (e) 10,5, (f) 12.



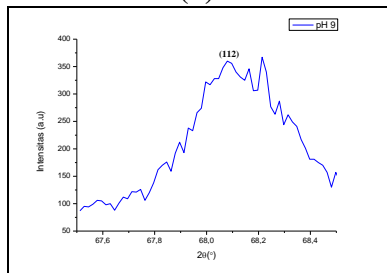
(a)



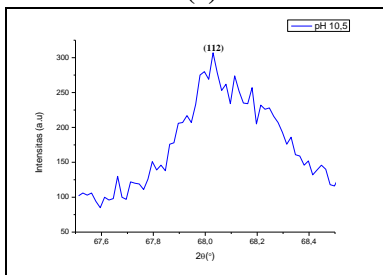
(b)



(c)

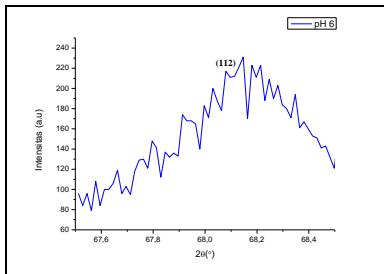


(d)

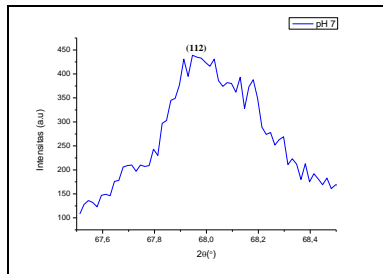


(e)

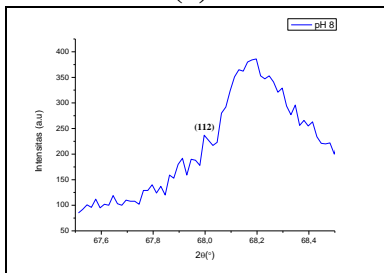
Gambar B2 Spektrum XRD hkl (112) ZnO dengan anil 300° C selama 60 menit pada pH (a) 6, (b) 7, (c) 8, (d) 9, (e) 10,5.



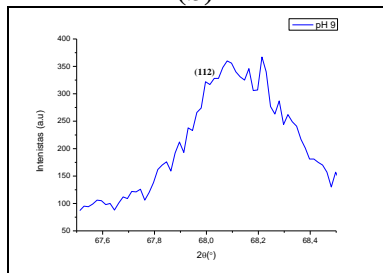
(a)



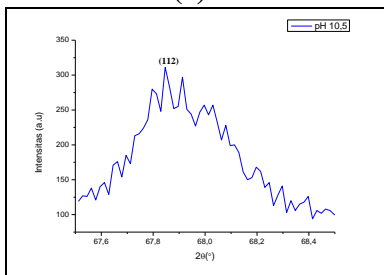
(b)



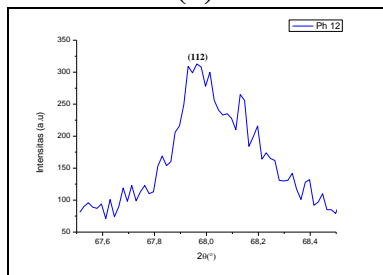
(c)



(d)

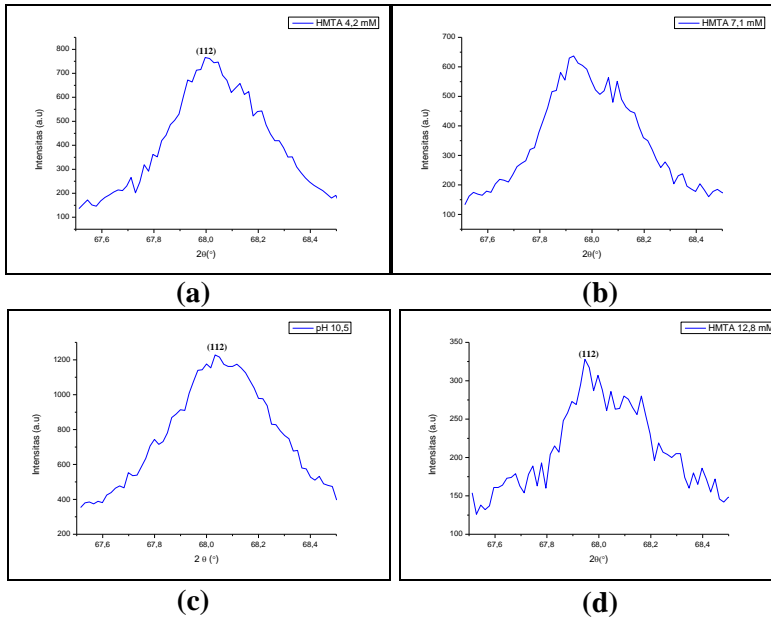


(e)

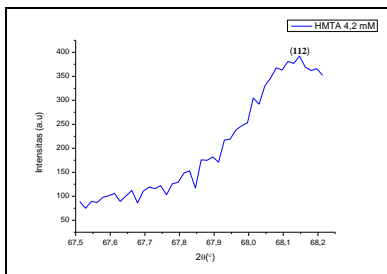


(f)

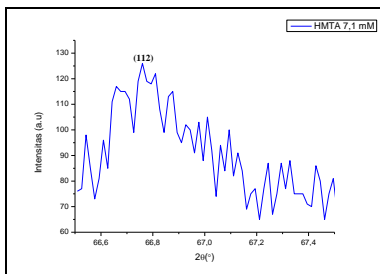
Gambar B3 Spektrum XRD hkl (112) ZnO dengan anil 200° C selama 30 menit pada pH (a) 6, (b), 7, (c) 8, (d) 9, (e) 10,5, (f) 12.



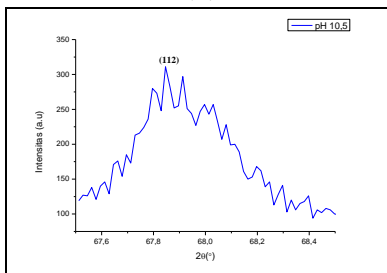
Gambar B4 Spektrum XRD hkl (112) ZnO pada variasi jumlah HMTA (a) 4,2 mM (b) 7,1 mM, (c) 9,9 mM, dan (d) 12,8 mM



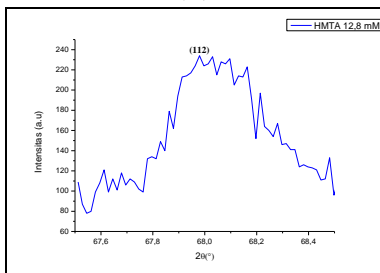
(a)



(b)



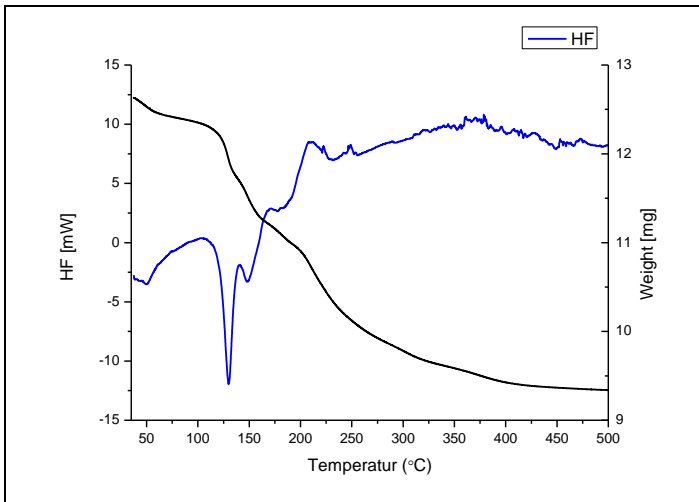
(c)



(d)

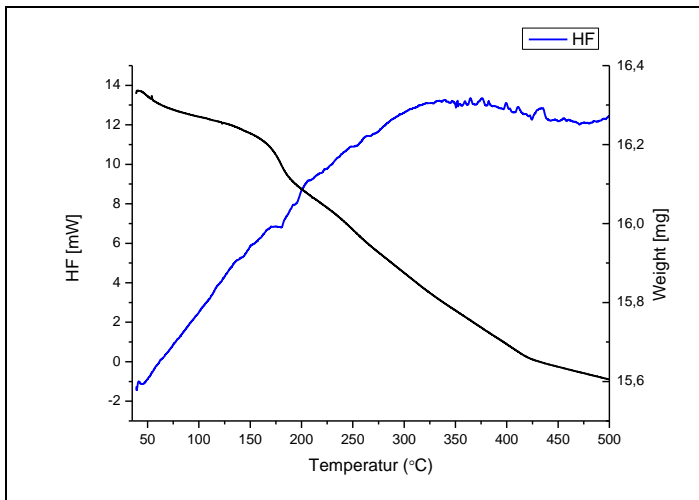
Gambar B5 Spektrum XRD hkl (112) ZnO dengan anil 200° C selama 30 menit pada jumlah HMTA (a) 4,2 mM, (b) 7,1 mM, (c) 9,9 mM, dan d (d) 12,8 mM.

LAMPIRAN C

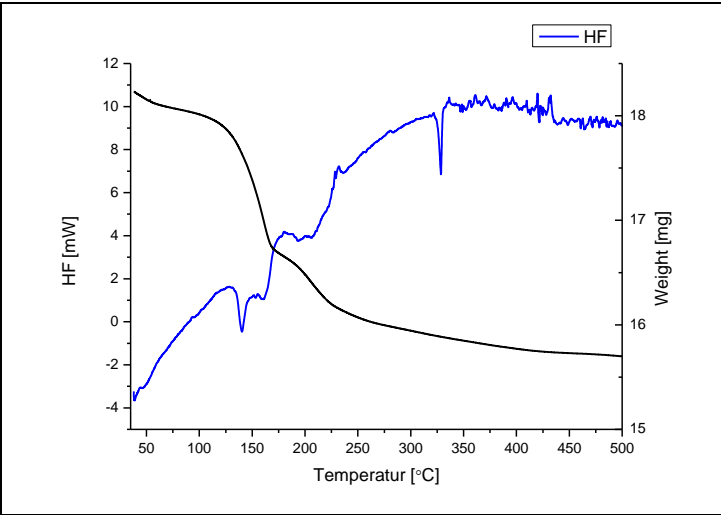


Gam

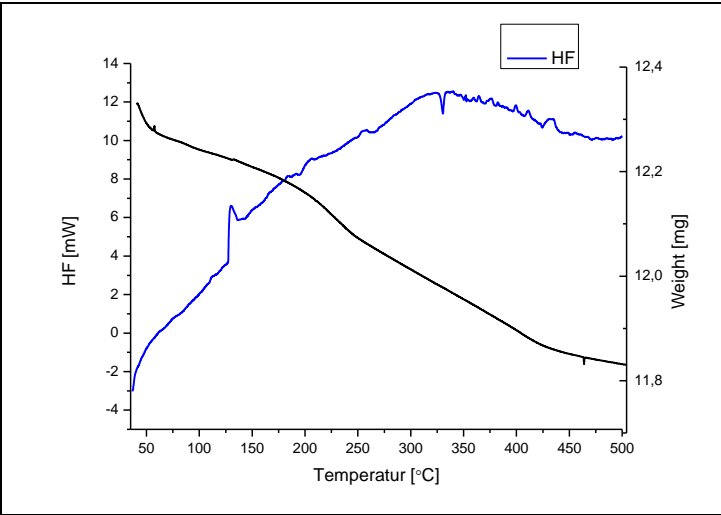
bar C1 Kurva DSC-TGA dari material ZnO pH 6



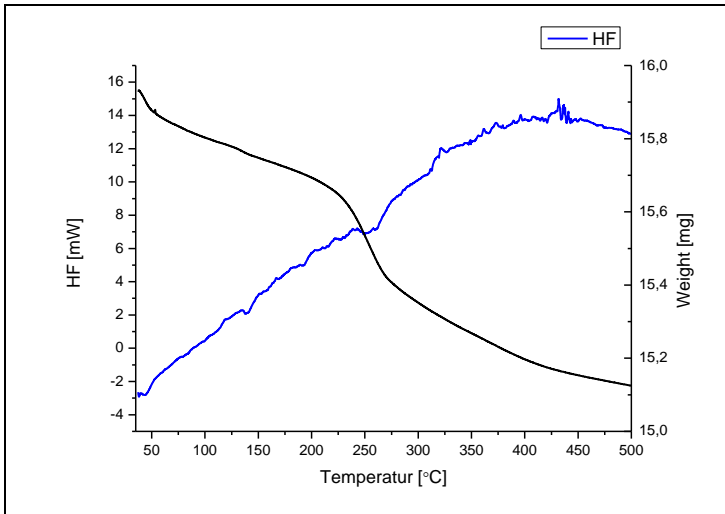
Gambar C2 Kurva DSC-TGA dari material ZnO pH 7



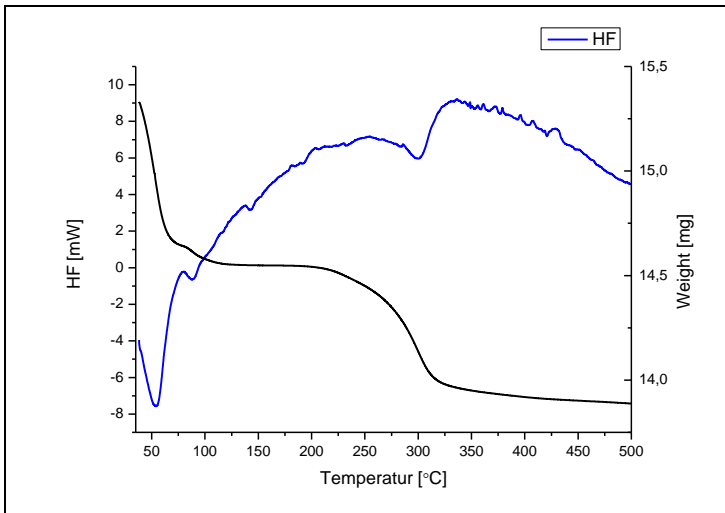
Gambar C3 Kurva DSC-TGA dari material ZnO pH 8



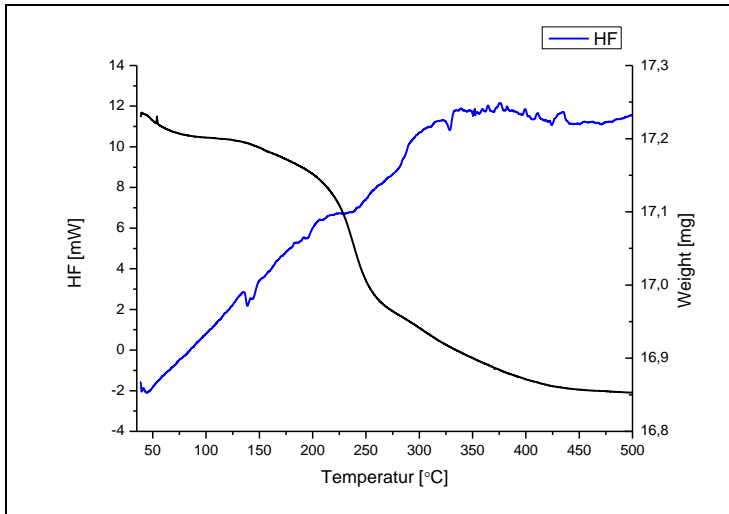
Gambar C4 Kurva DSC-TGA dari material ZnO pH 9



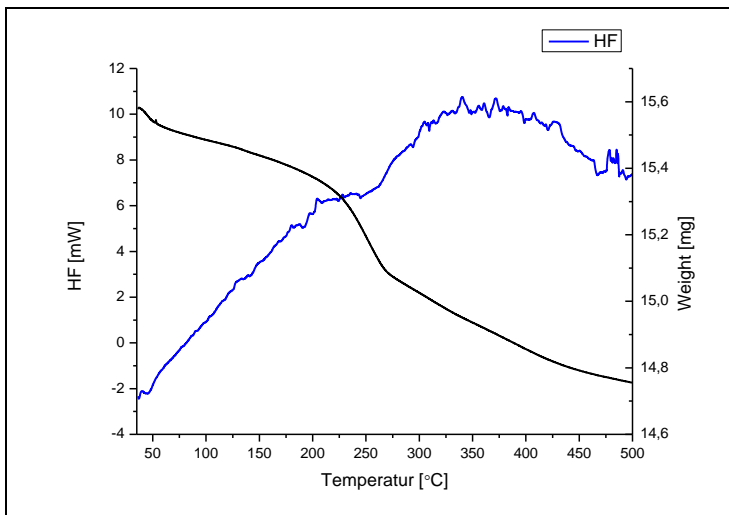
Gambar C5 Kurva DSC-TGA dari material ZnO pH 10,5



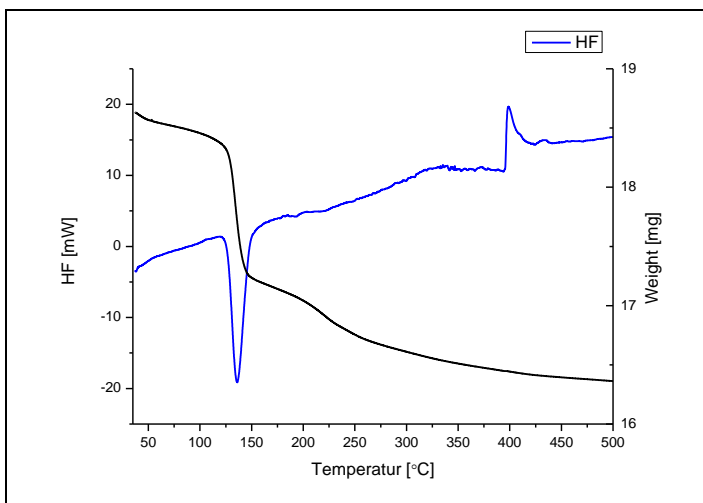
Gambar C6 Kurva DSC-TGA dari material ZnO pH 12



Gambar C7 Kurva DSC-TGA dari material ZnO HMTA 4,2 mM

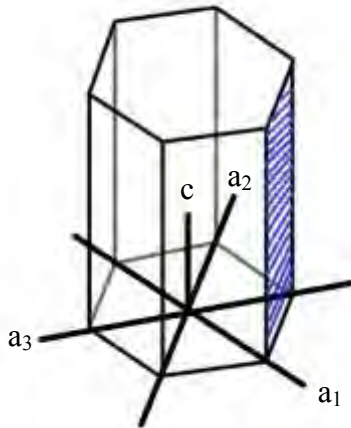


Gambar C8 Kurva DSC-TGA dari material ZnO HMTA 7,1 mM

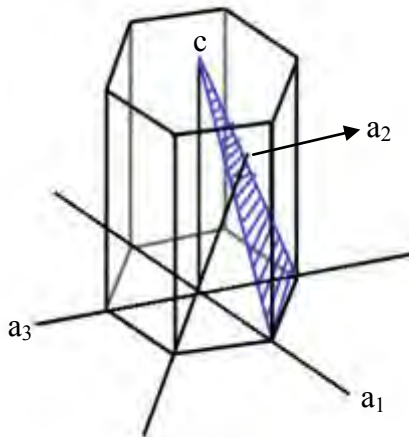


Gambar C9 Kurva DSC-TGA material ZnO HMTA 12,8 mM

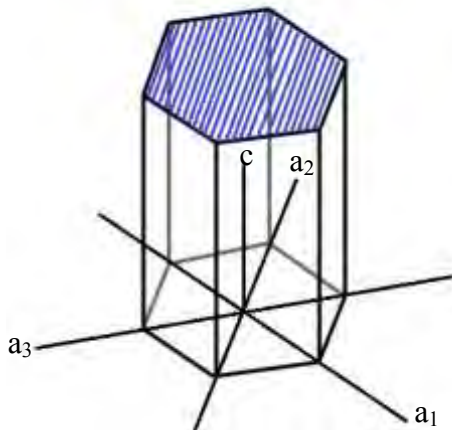
LAMPIRAN D



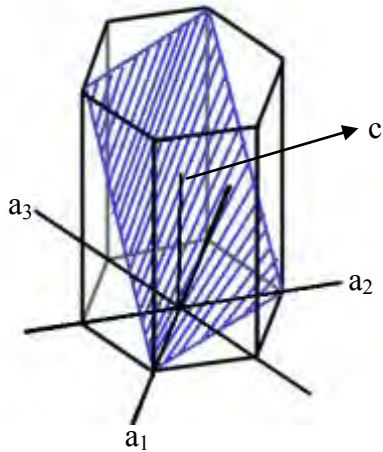
Gambar D1 Struktur ZnO heksagonal dengan hkl $(100) \approx (10\bar{1}0)$



Gambar D2 Struktur ZnO heksagonal dengan hkl $(101) \approx (10\bar{1}1)$



Gambar D3 Struktur ZnO heksagonal dengan hkl (002) \approx (0002)



Gambar D4 Struktur ZnO heksagonal dengan hkl (112) \approx (11 $\bar{2}$ 2)

BIODATA PENULIS



Penulis mempunyai nama lengkap Muhammad Iqbal, lahir di Samarinda tanggal 5 Nopember 1991 dan merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan sekolah dasar di SD Muhammadiyah 1 Samarinda. Pada tahun 2004, penulis melanjutkan pendidikan menengah di SMPN 2 Samarinda, dan pendidikan menengah atas di SMAN1 Samarinda. Hingga akhirnya pada tahun 2010 penulis meneruskan pendidikannya di Jurusan Teknik Fisika ITS. Selama menjadi mahasiswa, penulis cukup aktif dengan organisasi kemahasiswaan dan laboratorium Rekayasa Bahan Teknik Fisika. Penulis membuat Tugas Akhir dengan judul “**FABRIKASI DAN UJI PERFORMANSI *DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS* (DSSC) BERBASIS ZnO (OKSIDA SENG) NANOFLOWER DENGAN VARIASI DERAJAT KEASAMAN DAN HMTA**”. Bagi pembaca yang memiliki kritik dan saran tentang Tugas Akhir ini, bisa menghubungi email penulis iqbal.muhammad5445@gmail.com.